

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-177783

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月30日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 1 1 C 11/14

G 1 1 C 11/14

F

// H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号

特願平8-334168

(22) 出願日

平成8年(1996)12月13日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 山根 治起

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 前野 仁典

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 小林 政信

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

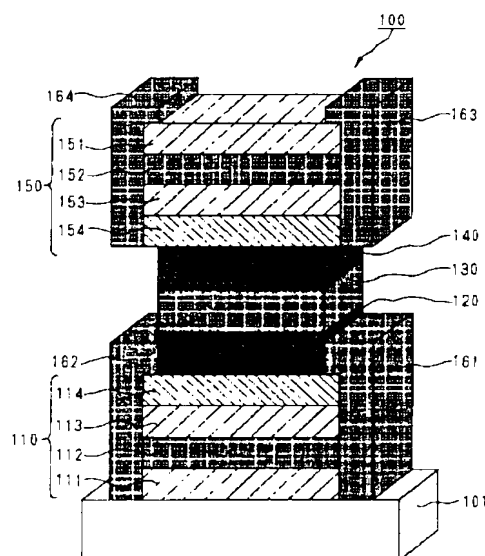
(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

(54) 【発明の名称】 磁気メモリ素子、この磁気メモリ素子の情報記録方法および情報記憶装置

(57) 【要約】

【課題】 出力値が大きく且つ高密度化が容易な磁気メモリ素子を提供する。

【解決手段】 巨大磁気抵抗効果を用いて情報を記録する情報記録部を2個備え、且つ、これらの2個の情報記録部110、150に同時に逆方向の磁界を与えるように設けられた磁界形成用電極130を備える。そして、これらの情報記録部110、150の抵抗値の差を記憶情報とすることにより、参照用磁気メモリ素子を用いることなく十分な出力レベルを確保する。



101: ガラス基板
110: 第1の情報記録部
111, 113, 151, 153: 強磁性体層
112, 152: 非磁性体層
114, 154: 反強磁性体層
120, 140: 絶縁層
130: 磁界形成用電極
150: 第2の情報記録部
161, 162, 163, 164: 抵抗値検出用電極

第1の実施の形態の磁気メモリ素子の構造図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記憶するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す情報記録部を用いた磁気メモリ素子において、
基板上に設けられた第1の前記情報記録部と、
この第1の情報記録部の近傍に設けられた第2の前記情報記録部と、
前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部に同時に逆方向の磁界を与えるように、この第1の情報記録部およびこの第2の情報記録部の近傍に設けられた磁界形成用電極と、
を備えたことを特徴とする磁気メモリ素子。

【請求項2】 前記第1の情報記録部の表面に第1の絶縁膜を介して前記磁界形成用電極が設けられ、且つ、この磁界形成用電極の表面に第2の絶縁膜を介して前記第2の情報記録部が設けられたことを特徴とする請求項1に記載の磁気メモリ素子。

【請求項3】 前記第1の情報記録部の表面に直接前記磁界形成用電極が設けられ、且つ、この磁界形成用電極の表面に直接前記第2の情報記録部が設けられたことを特徴とする請求項1に記載の磁気メモリ素子。

【請求項4】 前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部が、第1の強磁性体層と、この第1の強磁性体層の表面に形成された非磁性体層と、この非磁性体層の表面に形成された第2の強磁性体層と、この第2の強磁性体層の表面に形成された反強磁性体層とを備えたことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の磁気メモリ素子。

【請求項5】 前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部が、前記第1の強磁性体層、前記非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記反強磁性体層からなる積層単位を複数個積層してなることを特徴とする請求項4に記載の磁気メモリ素子。

【請求項6】 前記第1の強磁性体層、前記非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記反強磁性体層の積層順序が前記第1の情報記録部と前記第2の情報記録部とで同一であることを特徴とする請求項4または5に記載の磁気メモリ素子。

【請求項7】 前記第1の強磁性体層、前記非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記反強磁性体層の積層順序が前記第1の情報記録部と前記第2の情報記録部とで逆であることを特徴とする請求項4または5に記載の磁気メモリ素子。

【請求項8】 前記第1の強磁性体層および第2の強磁性体層が、Fe、Ni、Coまたはこれらの合金からなる層であることを特徴とする請求項4～7のいずれかに記載の磁気メモリ素子。

【請求項9】 前記反強磁性体層が、FeMn、NiMn、IrMn、NiO、CoOまたは α -Fe₂O₃か

らなる層であることを特徴とする請求項4～7のいずれかに記載の磁気メモリ素子。

【請求項10】 前記反強磁性体層が、NiO、CoOまたは α -Fe₂O₃からなる層であることを特徴とする請求項3および7に記載の磁気メモリ素子。

【請求項11】 前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部が、第1の強磁性体層と、この第1の強磁性体層の表面に形成された第1の非磁性体層と、この非磁性体層の表面に形成された、前記第1の強磁性体層よりも小さい保磁力を有する第2の強磁性体層と、この第2の強磁性体層の表面に形成された第2の非磁性体層とを備えたことを特徴とする請求項1または2に記載の磁気メモリ素子。

【請求項12】 前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部が、前記第1の強磁性体層、前記第1の非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記第2の非磁性体層からなる積層単位を複数個積層してなることを特徴とする請求項11に記載の磁気メモリ素子。

【請求項13】 前記第1の強磁性体層、前記第1の非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記第2の非磁性体層の積層順序が前記第1の情報記録部と前記第2の情報記録部とで同一であることを特徴とする請求項11または12に記載の磁気メモリ素子。

【請求項14】 前記第1の強磁性体層、前記第1の非磁性体層、前記第2の強磁性体層および前記第2の非磁性体層の積層順序が前記第1の情報記録部と前記第2の情報記録部とで逆であることを特徴とする請求項11または12に記載の磁気メモリ素子。

【請求項15】 前記第1の強磁性体層および第2の強磁性体層が、Fe、Ni、Coまたはこれらの合金からなる層であることを特徴とする請求項11～14のいずれかに記載の磁気メモリ素子。

【請求項16】 前記第1の情報記録部の電気抵抗値と前記第2の情報記録部の電気抵抗値とを比較する抵抗比較手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1～15のいずれかに記載の磁気メモリ素子。

【請求項17】 非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記憶するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す第1の情報記録部および第2の情報記録部と、これら第1の情報記録部および第2の情報記録部に同時に逆方向の磁界を与える磁界形成用電極とを備える磁気メモリ素子の情報記録方法であって、

第1の値を記録する場合には、前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差のみが零となるような電流を前記磁界形成用電極の第1の方向に流し、

第2の値を記録する場合には、前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差のみが零となるような電流を前記磁界形成用電極の第2の方向に流す、

ことを特徴とする磁気メモリ素子の情報記録方法。

3

【請求項18】 前記磁界形成用電極の前記第1の方向に第1の値の電流を流したときには前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差が180度且つ前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差が0度となり、前記磁界形成用電極の前記第2の方向に第2の値の電流を流したときには前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差が0度且つ前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差が180度となるように、前記第1の方向と前記第2の方向となす角度、前記第1の値および前記第2の値が定められたことを特徴とする請求項17に記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項19】 前記第1の方向と前記第2の方向となす角度が180度であり、且つ、前記第1の値と前記第2の値との絶対値が同一であることを特徴とする請求項17または18に記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項20】 前記第1の方向および前記第2の方向が、前記磁化方向の差を電気抵抗値として読出すために流す電流の方向と直交することを特徴とする請求項17～19のいずれかに記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項21】 非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記憶するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す第1の情報記録部および第2の情報記録部と、これら第1の情報記録部および第2の情報記録部に同時に逆方向の磁界を与える磁界形成用電極とを備える磁気メモリ素子の情報記録方法であって、

第1の値を記録する場合には、前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差のみが零となるような電流を前記磁界形成用電極の第1の方向に流し、

第2の値を記録する場合には、前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差のみが零となるような電流を前記磁界形成用電極の第2の方向に流し、

第3の値を記録する場合には、前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差と前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差とか同一となるような電流を前記第1の方向または前記第2の方向に流す、

ことを特徴とする磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項22】 前記磁界形成用電極の前記第1の方向に第1の値の電流を流したときには前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差が180度且つ前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差が0度となり、前記磁界形成用電極の前記第2の方向に第2の値の電流を流したときには前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差が0度且つ前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差が180度となり、前記磁界形成用電極の前記第2の方向に第3の値の流したときには前記第1の情報記録部の前記磁化方向の差が0度且つ前記第2の情報記録部の前記磁化方向の差が0度となるように、前記第1の方向と前記第2の方

4

向となす角度、前記第1の値、前記第2の値および前記第3の値が定められたことを特徴とする請求項21に記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項23】 前記第1の方向と前記第2の方向となす角度が180度であり、且つ、前記第1の値と前記第2の値との絶対値が同一であることを特徴とする請求項21または22に記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項24】 前記第1の方向および前記第2の方向が、前記磁化方向の差を電気抵抗値として読出すために流す電流の方向と直交することを特徴とする請求項21～23のいずれかに記載の磁気メモリ素子の情報記録方法。

【請求項25】 非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記録するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す第1の情報記録部および第2の情報記録部と、これら第1の情報記録部および第2の情報記録部に同時に逆方向の磁界を与える磁界形成用電極とを備える磁気メモリ素子をマトリクス状に配列してなるメモリセルアレイを有する情報記憶装置において、

同一行のそれぞれの前記磁気メモリ素子の前記磁界形成用電極の一端と接続された複数の第1の記録電流供給線と、

同一列のそれぞれの前記磁気メモリ素子の前記磁界形成用電極の他端と接続された複数の第2の記録電流供給線と、

同一行のそれぞれの前記磁気メモリ素子の前記第1の情報記録部および第2の情報記録部に設けられたそれぞれの前記強磁性体の一端と接続された複数の第1の抵抗値検出線と、

同一列のそれぞれの前記磁気メモリ素子の前記第1の情報記録部に設けられたそれぞれの前記強磁性体の他端と接続された複数の第2の抵抗値検出線と、

同一列のそれぞれの前記磁気メモリ素子の前記第2の情報記録部に設けられたそれぞれの前記強磁性体の他端と接続された複数の第3の抵抗値検出線と、

前記第2の抵抗値検出線および前記第3の抵抗値検出線の電流値または電圧値を用いて前記第1の情報記録部の電気抵抗値と前記第2の情報記録部の電気抵抗値とを比較する抵抗比較手段と、

を備えたことを特徴とする情報記憶装置。

【請求項26】 情報の記録時に、任意の行の前記第1の記録電流供給線および任意の列の前記第2の記録電流供給線を1本ずつ選択することによって1個の前記磁気メモリ素子を特定するとともに、このようにして選択された前記第1の記録電流供給線および前記第2の記録電流供給線を用いてこの特定された磁気メモリ素子に電流を供給する記録制御手段と、

情報の読出し時に、任意の行の前記第1の抵抗値検出線

と任意の列の前記第2の抵抗値検出線および前記第3の抵抗値検出線を1本ずつ選択することによって1個の前記磁気メモリ素子を特定するとともに、このようにして選択された前記第1の抵抗値検出線を介して前記第1の情報記録部および前記第2の情報記録部に電流または電圧を供給し、このときに選択されている前記第2の抵抗値検出線および前記第3の抵抗値検出線の前記電流または前記電圧を前記抵抗比較手段に供給する読出制御手段と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項25に記載の情報記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記憶するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す情報記録部を用いた磁気メモリ素子と、この磁気メモリ素子の情報記録方法と、情報記憶装置とに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、このような情報記録部を用いた磁気メモリ素子として、巨大磁気抵抗(GMR: Giant Magnetoresistance)効果を利用したものが知られている。この巨大磁気抵抗効果は、磁気抵抗(MR: Magnetoresistance)効果の一種であるが、抵抗の変化量が非常に大きいという特徴を有している。

【0003】この巨大磁気抵抗効果を利用した磁気メモリ素子としては、例えば、特開平6-295419号公報に記載されたものが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】この特開平6-295419号公報に記載された磁気メモリ素子は、同公報の図3に示されているように、非磁性体を介して積層された2層の強磁性体(同公報中では「第1の軟強磁性層」および「第2の強磁性層」)からなる1個の情報記録部と、この情報記録部に磁界を与える一対の磁界形成用電極(同公報中では「非磁性金属材料薄膜層」および「書込み線」)とを備えている。ここで、第2の強磁性層は、反強磁性層との交換結合等によって所定の磁化方向に固定されており、非常に大きい外部磁界を与えない限り磁化方向が反転することはない(同公報の第5カラム第38行~第45行参照)。一方、第1の軟強磁性層の磁化方向は、所定の弱い外部磁界を与えることによって反転させることができる。

【0005】かかる磁気メモリ素子に対する情報の記録は、情報記録部に縦方向の磁界と横方向の磁界とを同時に印加して、第1の軟強磁性層の磁化方向のみを設定することにより行なう(同公報の第5カラム第50行~第6カラム第12行参照)。ここで、縦方向の磁界は書込み線を流れる縦方向書込み電流により誘導され、横方向

の磁界は非磁性金属材料薄膜層を流れる横書き込みセンス電流によって誘導される。そして、このような互いに直行する電流を用いた書込み方法を実現することにより、ワード線とビット線とを用いたマトリクス状のメモリセルアレイを有する情報記憶装置を実現している(同公報の図5参照)。

【0006】一方、この磁気メモリ素子からの情報の読出しは、第1の軟強磁性層および第2の強磁性層を並列に接続して電流を流したときの抵抗値を測定することによって、行なうことができる。この抵抗値は、これらの強磁性層の磁化方向が同一方向であるときに最小となり、逆方向であるときに最大となる(同公報の第6カラム第23行~第27行参照)。したがって、このようにして測定した抵抗値を所定の抵抗値と比較することによって、情報の読出しを行なうことができる。

【0007】同公報の図5に示された情報記憶装置では、この所定の抵抗値を、参照MR記憶素子によって得ている。すなわち、情報を記録するときには活動MR素子のみに対して書込みを行ない、情報を読出すときにはこの活動MR素子のセンス電流と参照MR素子のセンス電流とをセンス増幅器で比較することによって書込み情報の値を判断している(同公報の第7カラム第13行~第21行)。

【0008】しかしながら、上述したような従来の磁気メモリ素子には、最小抵抗値と最大抵抗値との差がせいぜい数パーセント程度であるため、検出信号値の大きさが十分ではなく、S/N比も悪いという課題があった。

【0009】また、情報を読出す際に参照用のMR素子を使用するため、各メモリセルが合計2個のMR素子を備えなければならず、このため高密度化が図りにくく小面積化が困難であるという欠点があった。

【0010】このため、出力値が大きく、高密度化が容易な磁気メモリ素子および情報記録装置が囑望されていた。

【0011】

【課題を解決するための手段】

(1) 第1の発明は、非磁性体を介して積層された2層以上の強磁性体の磁化方向の差を情報として記憶するとともにこの磁化方向の差を電気抵抗値として読み出す情報記録部を用いた磁気メモリ素子に関するものである。

【0012】そして、この第1の発明は、基板上に設けられた第1の情報記録部と、この第1の情報記録部の近傍に設けられた第2の情報記録部と、第1の情報記録部および前記第2の情報記録部に同時に逆方向の磁界を与えるように第1の情報記録部および第2の情報記録部の近傍に設けられた磁界形成用電極とを備えている。

【0013】このような構成によれば、第1の情報記憶部および第2の情報記憶部に逆方向の磁界を与えて異なる抵抗値を設定することができるので、検出信号値を2倍にすることができるとともに、この検出信号値のS/N

N比を向上させることが可能となる。

【0014】(2)第2の発明は、第1の発明に係る磁気メモリ素子に2値化情報を記録するための情報記録方法に関するものである。

【0015】そして、この第2の発明では、第1の値を記録する場合には第2の情報記録部の磁化方向の差のみが零となるような電流を磁界形成用電極の第1の方向に流し、第2の値を記録する場合には、第1の情報記録部の磁化方向の差のみが零となるような電流を磁界形成用電極の第2の方向に流すこととしている。

【0016】このような方法によれば、簡単な手順で、1個の磁界形成用電極によって2個の情報記録部(第1の情報記録部および第2の情報記録部)に同時に情報の書込みを行なうことができる。

【0017】(3)第3の発明は、第1の発明に係る磁気メモリ素子に3値化情報を記録するための情報記録方法に関するものである。

【0018】そして、この第3の発明では、第1の値を記録する場合には第2の情報記録部の磁化方向の差のみが零となるような電流を磁界形成用電極の第1の方向に流し、第2の値を記録する場合には第1の情報記録部の磁化方向の差のみが零となるような電流を磁界形成用電極の第2の方向に流し、第3の値を記録する場合には第1の情報記録部の磁化方向の差と第2の情報記録部の前記磁化方向の差とが同一となるような電流を第1の方向または第2の方向に流すこととしている。

【0019】このような方法によれば、簡単な手順で1個の磁界形成用電極によって2個の情報記録部(第1の情報記録部および第2の情報記録部)に同時に情報の書込みを行なうことができるとともに、1個の磁気メモリ素子に3値化情報を記録することができるので、メモリの記憶容量を向上させることができる。

【0020】(4)第4の発明は、第1の発明に係る磁気メモリ素子をマトリクス状に配列してなるメモリセルアレイを有する情報記憶装置に関するものである。

【0021】そして、この第4の発明は、列方向のそれぞれの磁気メモリ素子の磁界形成用電極の一端と接続された第1の記録電流供給線と、同一列のそれぞれの磁気メモリ素子の磁界形成用電極の他端と接続された第2の記録電流供給線と、列方向のそれぞれの磁気メモリ素子の第1の情報記録部および第2の情報記録部に設けられたそれぞれの強磁性体の一端と接続された第1の抵抗値検出線と、同一列のそれぞれの磁気メモリ素子の第1の情報記録部に設けられたそれぞれの強磁性体の他端と接続された第2の抵抗値検出線と、同一列のそれぞれの磁気メモリ素子の第2の情報記録部に設けられたそれぞれの強磁性体の他端と接続された第3の抵抗値検出線と、第2の抵抗値検出線および第3の抵抗値検出線の電流値または電圧値から第1の情報記録部の電気抵抗値と第2の情報記録部の電気抵抗値とを比較する抵抗比較手段と

を備えている。

【0022】このような構成によれば、第1の発明に係る磁気メモリ素子を使用して情報記憶装置を構成することができるので、各メモリセル(磁気メモリ素子)第1の情報記録部および第2の情報記録部に逆方向の磁界を与えて異なる抵抗値を設定することができ、これらの抵抗値を比較することによって情報の読出しを行なうことができるので、参照用の磁気メモリ素子は不要となる。そして、これにより、メモリセルアレイの高密度化が図り安くなるので、小面積で大容量の情報記憶装置を得ることが可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。なお、図中、各構成成分の大きさ、形状および配置関係は、この発明が理解できる程度に概略的に示してあるにすぎず、また、以下に説明する数値的条件は単なる例示にすぎないことを理解されたい。

【0024】第1の実施の形態

まず、この発明の第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子およびその情報記録方法について、図1～図3を用いて説明する。

【0025】図1は、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を模式的に示す斜視図である。

【0026】同図に示したように、この磁気メモリ素子100において、ガラス基板101上には第1の情報記録部110が設けられ、この第1の情報記録部110上には例えば膜厚0.5 μ mのSiO₂膜からなる第1の絶縁層120が設けられ、この第1の絶縁層120上には例えば膜厚1.0 μ mのCu膜からなる磁界形成用電極130が設けられ、この磁界形成用電極130上には例えば膜厚0.5 μ mのSiO₂膜からなる第2の絶縁層140が設けられ、さらに、この第2の絶縁層140上には第2の情報記録部150が設けられている。

【0027】ここで、第1の情報記録部110は、ガラス基板101上に形成された例えば膜厚6.0nmのCo膜からなる第1の強磁性体層111と、この第1の強磁性体層111の表面に形成された例えば膜厚2.8nmのCu膜からなる非磁性体層112と、この非磁性体層112の表面に形成された例えば膜厚6.0nmのCo膜からなる第2の強磁性体層113と、この第2の強磁性体層113の表面に形成された例えば膜厚2.0nmのFeMn合金膜からなる反強磁性体層114とを備えている。

【0028】一方、第2の情報記録部150は、絶縁層140上に形成された例えば膜厚2.0nmのFeMn合金膜からなる反強磁性体層154と、この反強磁性体層154上に形成された例えば膜厚6.0nmのCo膜からなる第2の強磁性体層153と、この第2の強磁性体層153上に形成された例えば膜厚2.8nmのCo

u膜からなる非磁性体層152と、この非磁性体層152上に形成された例えば膜厚6.0nmのCu膜からなる第1の強磁性体層151とを備えている。

【0029】このように、第1の情報記録部110と第2の情報記録部150とは、各層の積層順序が互いに逆になっている。

【0030】また、第1の情報記録部110の側面には、例えば膜厚が1.0 μ mのCu膜からなる抵抗値検出用電極161、162が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層111、113間に電流を流すことにより、第1の強磁性体層111および第2の強磁性体層113を並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することかできる。

【0031】同様に、第2の情報記録部150の側面には、強磁性体層151、153に上記強磁性体層111、113と同一方向の電流を流すことかできるように、例えば膜厚が1.0 μ mのCu膜からなる抵抗値検出用電極163、164が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層151、153間に電流を流すことにより、第1の強磁性体層151および第2の強磁性体層153を並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することかできる。

【0032】このような構成の磁気メモリ素子は、それぞれ通常のスパッタリング法等の薄膜形成技術および通常のフォトリソグラフィを用いたエッチング技術を使用して、まず、第1の情報記録部110の各層111、112、113、114を形成し、次に、抵抗値検出用電極161、162を形成し、第3に、絶縁層120、磁界形成用電極130および絶縁層140からなる積層構造を形成し、第4に、第2の情報記録部150の各層151、152、153、154を形成し、最後に、抵抗値検出用電極163、164を形成することにより、作製することができる。

【0033】次に、図1に示した情報記録部110、150の特性について、図2を用いて説明する。

【0034】図2(A)および(B)は、第1の情報記録部110の磁気抵抗特性を直流四端子法で測定した結果を示すグラフである。ここで、四端子法とは、四電極法とも呼ばれ、素子の電極(ここでは抵抗値検出用電極161、162)とは別に設けたプローブ電極によって電位降下を検出することにより、抵抗を測定する方法である。この方法によれば、電極のインピーダンスの影響を排除して高精度の抵抗測定を行なうことが可能である。

【0035】図2(A)は、第1の情報記録部110の磁気抵抗曲線を示すグラフであり、横軸は磁界の強度

【Oe】を、縦軸は強磁性体層111、113の磁化方向が同一であるときの基準とした抵抗値の変化率[%]を示している。また、同図において、aは磁界の強度を-400【Oe】から+400【Oe】まで増加させた

場合であり、bは磁界の強度を+400【Oe】から-400【Oe】まで減少させた場合である。なお、このグラフは、第2の強磁性体層113と反強磁性体層114との交換結合の方向を負側とした場合を示している。

【0036】図2(A)に示したように、第1の情報記録部110に印加される外部磁界の強度を-400【Oe】から増加させていくと、この磁界強度が約+40【Oe】を越えてから第1の強磁性体層111の磁化方向が変化し、最後には反転する。一方、第2の強磁性体層113は、反強磁性体層114との交換結合により固定されているので、磁化方向は変化しない。これにより、第1の強磁性体層111の磁化方向と第2の強磁性体層113の磁化方向とが逆方向となるので、この第1の情報記録部110の電気抵抗(すなわち第1の強磁性体層111と第2の強磁性体層113とを並列接続して得られる合成抵抗)の値は約6.0%だけ増加する。

【0037】その後、第1の情報記録部110に印加される外部磁界の強度をさらに増加させていき、この磁界強度が約+200【Oe】を越えると、第2の強磁性体層113の磁化方向が変化し、最後には反転する。これにより、第1の強磁性体層111の磁化方向と第2の強磁性体層113の磁化方向とが同方向となるので、この第1の情報記録部110の電気抵抗は減少する。

【0038】一方、磁界形成用電極130に流す電流を変化させて第1の情報記録部110に印加される外部磁界の強度を+400【Oe】から減少させていった場合には、この磁界強度が約-40【Oe】に達したときには、第1の強磁性体層111の磁化方向のみが変化してこの第1の強磁性体層111の磁化方向と第2の強磁性体層113の磁化方向とが逆方向となり、第1の情報記録部110の電気抵抗が約5.5%だけ増加する。そして、第1の情報記録部110に印加される外部磁界の強度をさらに減少させていき、この磁界強度が約-60【Oe】よりも小さくなると第2の強磁性体層113の磁化方向が変化して第1の強磁性体層111の磁化方向と第2の強磁性体層113の磁化方向とが同方向となり、第1の情報記録部110の電気抵抗は減少する。

【0039】このように、この実施の形態に係る第1の情報記録部110は、ヒステリシス特性を示している。

【0040】ここで、第1の情報記録部110に情報を記録するためには、後述するように、第1の強磁性体層111の磁化方向のみを反転させ、第2の強磁性体層113の磁化方向は固定しておかなければならない。したがって、磁界形成用電極130に電流を流すことによって第1の情報記録部110に印加する外部磁界の強度は、例えば、約-60【Oe】から約+60【Oe】までの間で変化させる必要がある。

【0041】図2(B)は、第1の情報記録部110に印加する外部磁界の強度を約-60【Oe】から約+60【Oe】までの間で変化させたときの磁気抵抗曲線を

示すグラフであり、横軸は磁界の強度 $[Oe]$ を、縦軸は強磁性体層 111、113 の磁化方向が同一であるときを基準とした抵抗値の変化率 $[\%]$ を示している。また、同図において、符号 c は磁界の強度を $-60 [Oe]$ から $+60 [Oe]$ まで増加させた場合を示しており、符号 d は磁界の強度を $+60 [Oe]$ から $-60 [Oe]$ まで減少させた場合を示している。なお、このグラフは、予め第 1 の情報記録部 110 に $-200 [Oe]$ の外部磁界を与えて強磁性体層 111、113 の磁化方向を正方向にそろえた場合を示しており、また交換結合の方向は負側であるとする。

【0042】図 2 (B) に示したように、第 1 の情報記録部 110 に印加される外部磁界の強度を $-60 [Oe]$ から増加させていった場合には、この磁界強度が約 $+30 [Oe]$ に達したときに、第 1 の強磁性体層 111 の磁化方向のみが反転してこの第 1 の強磁性体層 111 の磁化方向と第 2 の強磁性体層 113 の磁化方向とが逆方向となるので、第 1 の情報記録部 110 の電気抵抗が約 6.0% だけ増加する。

【0043】一方、第 1 の情報記録部 110 に印加される外部磁界の強度を $+60 [Oe]$ から減少させていった場合には、この磁界強度が約 $-15 [Oe]$ に達したときに、第 1 の強磁性体層 111 の磁化方向のみがさらに反転してこの第 1 の強磁性体層 111 の磁化方向と第 2 の強磁性体層 113 の磁化方向とが同方向となるので、第 1 の情報記録部 110 の電気抵抗が低下する。

【0044】したがって、磁界形成用電極 130 に電流を流して第 1 の情報記録部 110 に印加する外部磁界の強度を例えば $+40 [Oe]$ または $-40 [Oe]$ とすることにより、この第 1 の情報記録部 110 に抵抗値の

違いによる情報記録を行なうことができる。

【0045】なお、第 2 の情報記録部 150 に情報を記録する原理も、第 1 の情報記録部 110 の場合と同様である。ただし、この実施の形態では、第 1 の情報記録部 110 と第 2 の情報記録部 150 とを磁界形成用電極 130 に対して逆の方向に設けているので、この磁界形成用電極 130 に電流を流したときに第 2 の情報記録部 150 に印加される外部磁界の方向は第 1 の情報記録部 110 とは逆となり、したがって第 1 の強磁性体層 111 の磁化方向も逆になる。

【0046】続いて、図 1 に示した磁気メモリ素子 100 の情報を記録する方法および読出し方法について、図 3 (A) および (B) を用いて説明する。

【0047】図 3 (A) は、この磁気メモリ素子 100 を用いて情報の記録および読出しを行なう際の回路構成を示す模式図である。図 3 (A) において、図 1 と同じ符号を付した構成部は、それぞれ、図 1 と同じものを示している。

【0048】図 3 (A) に示したように、第 1 の抵抗検出回路 301 は、抵抗値検出用電極 161、162 に接

続されている。この第 1 の抵抗検出回路 301 は、これらの抵抗値検出用電極 161、162 を介して第 1 の情報記録部 110 に定電流 I_1 を流し、このときの電圧値から第 1 の情報記録部 110 の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_1 を出力する。

【0049】同様に、第 2 の抵抗検出回路 302 は抵抗値検出用電極 163、164 に接続されており、これらの抵抗値検出用電極 163、164 を介して第 2 の情報記録部 150 に定電流 I_2 を流したときの電圧値から第 2 の情報記録部 150 の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_2 を出力する。

【0050】比較回路 303 は、信号 S_1 を + 入力端子から入力するとともに信号 S_2 を - 入力端子から入力して両信号の差 $S_1 - S_2$ を算出し、読出データ D として、出力端子 304 を介して外部に出力する。

【0051】磁界形成用電極 130 には、図示しない電流源によって、図面に垂直な方向の電流が供給される。すなわち、この磁界形成用電極 130 に流れる電流の方向は、上述した抵抗検出回路 301、302 によって情報記録部 110、150 に流される電流 I_1 、 I_2 と直交する。

【0052】次に、図 3 (A) に示した回路を用いて磁気メモリ素子 100 に対する情報の記録および読出しを行なう際の動作について、図 3 (B) を用いて説明する。

【0053】磁気メモリ素子 100 に対しては、予め初期設定として、外部から情報記録部 110、150 に、磁界強度が例えば $-300 [Oe]$ の同方向の磁界を印加する。これにより、情報記録部 110、150 に形成された各強磁性体層 111、113、151、153

(図 3 (A) では図示せず) の磁化方向は、すべて正方向に設定される。なお、この初期化は、通常は、製造工程の最終段階で行なわれる。

【0054】そして、この磁気メモリ素子 100 に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極 130 に正方向(すなわち図 3 (A) の紙面の裏側から表側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が例えば $40 [Oe]$ の磁界を発生させる。これにより、図 3

(B) の第 1 段に示したように、第 1 の情報記録部 110 には強度が $-40 [Oe]$ (正方向) の磁界 B_{11} が印加され、且つ、第 2 の情報記録部 150 には強度が $-40 [Oe]$ (負方向) の磁界 B_{21} が印加される。したがって、情報記録部 110、150 に形成された各強磁性体層 111、113、151、153 のうち、第 1 の情報記録部 110 の第 1 の強磁性体層 111 のみが反転して負方向を向く。一方、第 2 の情報記録部 150 の第 1 の強磁性体層 151 は、磁化方向が外部磁界の方向と同じなので反転しない。また、各情報記録部 110、150 の第 2 の強磁性体層 113、153 は、上述したように反強磁性体層 114、154 (図 3 (A) では図示せ

ず)との交換結合のために、この磁界強度(40 [Oe])では磁界方向にかかわらず反転しない。

【0055】このため、第1の情報記録部110では2層の強磁性体層111、113の磁化方向は逆方向となり、また、第2の情報記録部150では2層の強磁性体層151、153の磁化方向は同方向となる。したがって、図3(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部110の抵抗(すなわち強磁性体層111、113を並列接続したときの合成抵抗)は高抵抗となり、また、第2の情報記録部150の抵抗(すなわち強磁性体層151、153を並列接続したときの合成抵抗)は低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子100に抵抗値の違いによる情報「0」を記録することができる。

【0056】一方、このようにして磁気メモリ素子100に記録された情報を読み出す場合には、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部110の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部150の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値(ハイレベルまたはローレベル)として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部110は高抵抗であり、第2の情報記録部150は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $D_1 = S_1 - S_2$ は正の値(すなわち正の信号レベル)となる。このようにして、磁気メモリ素子100に記録された情報「0」を読み出すことができる。

【0057】また、この磁気メモリ素子100に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極130に負方向(すなわち図3(A)の紙面の表側から裏側へ)の電流を流すことにより、磁界強度が例えば40 [Oe]の磁界を発生させる。これにより、図3

(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部110には強度が-40 [Oe](負方向)の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部150には強度が+40 [Oe](正方向)の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層111、113、151、153のうち、第2の情報記録部150の第1の強磁性体層151のみが反転して負方向を向き、他の強磁性体層111、113、153は反転しない。このため、第1の情報記録部110では2層の強磁性体層111、113の磁化方向は同方向となり、第2の情報記録部150では2層の強磁性体層151、153の磁化方向が逆方向となる。したがって、図3(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部110の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部150の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子100に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0058】一方、このようにして磁気メモリ素子10

0に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部150の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子100に記録された情報「1」(すなわち負の信号レベル)を読み出すことができる。

【0059】このように、この実施の形態に係る磁気メモリ素子は、2個の情報記録部110、150を設けるとともにこれらの情報記録部110、150に逆方向の磁界を印加して情報を記録することとしたので、これらの情報記録部110、150に異なる抵抗値を設定することができる。したがって、読み出し時の出力信号値を従来の2倍にすることができるとともに、その分だけS/N比の向上も図ることができる。

【0060】また、2個の情報記録部110、150に対して1個の磁界形成用電極130を設ければよく、参照用の磁気メモリ素子を用いる必要もないので、高密度化が図りやすく小面積化が容易となる。

【0061】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部110と第2の情報記録部150とで各層の積層順序を逆にしたか、同じ積層順序にしてもよい。

【0062】また、この実施の形態では、情報記録部を2個設けることとしたか、磁界形成用電極の上側と下側にそれぞれ情報記録部を複数個ずつ設けることとしてもよい。

【0063】さらに、この実施の形態では、第1の情報記録部110が高抵抗で且つ第2の情報記録部150が低抵抗の場合の情報で「0」とし、第1の情報記録部110が低抵抗で且つ第2の情報記録部150が高抵抗の場合の情報で「1」としたが、この逆であってもよいことはもちろんである。

【0064】加えて、この実施の形態では、磁界形成用電極130に流す定電流 I_1 、 I_2 の方向と情報記録部110、150に流す電流の方向とを直交方向としたが、このような方向に限定されるものではなく、記録・読み出しが可能な範囲で任意に設定することができる。

【0065】併せて、強磁性体層111、113、151、153の形成材料はC₆₀に限定されるものではなく、例えばFe、Niや、Fe、NiおよびC₆₀の合金等であってもよい。

【0066】さらに、反強磁性体層114、154の形成材料は、NiMn、IrMn、NiO等であってもよい。

【0067】第2の実施の形態

次に、この発明の第2の実施の形態について説明する。

【0068】この実施の形態は、上述の第1の実施の形態と同じ構造の磁気メモリ素子に3値化情報を記録するものである。すなわち、磁気メモリ素子は第1の実施の

形態と同じであるか、情報記録方法が第1の実施の形態と異なる。

【0069】したがって、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造については、説明を省略する。

【0070】以下、この実施の形態に係る情報記録方法について、図1、図4および図5を用いて説明する。

【0071】まず、図1に示した情報記録部110、150の特性について、図4を用いて説明する。

【0072】図4は、第1の情報記録部110の磁気抵抗特性を説明するためのグラフであり、図2(B)を模
10 式化したものである。このグラフにおいて、横軸は磁界の強度 $[Oe]$ を、縦軸は抵抗値の変化率 $[\%]$ を、それぞれ規格化したものである。

【0073】図4および図2(B)から判るように、第1の情報記録部110に印加される外部磁界の強度を $-60 [Oe]$ から増加させていった場合(符号 e 参照)に第1の強磁性体層111の磁化方向が反転する磁界強度(約 $+30 [Oe]$)の絶対値とこの外部磁界の強度を $-60 [Oe]$ から減少させていった場合(符号 f 参照)に第1の強磁性体層111の磁化方向が反転する磁
20 界強度(約 $-15 [Oe]$)の絶対値とは同じ値にはならず、このため、図4のグラフは縦軸に対して非対称となっている。これは、各強磁性体111、113間の磁気的な結合に起因するものである。

【0074】したがって、図4に示したように、この情報記録部110に対して印加する外部磁界の強度が $+H_a$ のときは第1の強磁性体層111が反転して高抵抗となるが磁界の強度が $+H_b$ のときは低抵抗となり、且
30 つ、磁界の強度が $-H_a$ のときおよび $-H_b$ のときはともに低抵抗となるように、磁界の強度の絶対値 H_a および H_b を定めることができる。そして、このような値の磁界の強度 $\pm H_a$ および $\pm H_b$ を情報記録部110の強磁性体層111、113に印加することにより、後述のようにして3値化情報の記録を行なうことが可能となる。

【0075】なお、第2の情報記録部150に情報を記録する原理も、第1の情報記録部110の場合と同様である。

【0076】続いて、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の情報を記録する方法および読出す方法について、
40 図5(A)および(B)を用いて説明する。

【0077】図5(A)において、図3(A)と同じ符号を付した構成部は、それぞれ図3(A)と同じものを示している。すなわち、図5(A)に示したこの実施の形態の読出し回路の構成は図3(A)と同一であり、磁界形成用電極130に供給される電流(したがって情報記録部110、150に印加される外部磁界)にのみ第1の実施の形態との差異がある。

【0078】また、予め(例えば製造工程の最終段階等に、初期設定として、外部から情報記録部110、

150に、磁界強度が例えば $-300 [Oe]$ の同方向の磁界を印加して各強磁性体層111、113、151、153(図5(A)では図示せず)の磁化方向をすべて正方向に設定しておく点も、第1の実施の形態の場合と同様である。

【0079】まず、この磁気メモリ素子100に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極130に正方向(すなわち図5(A)の紙面の裏側から表側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_a (例
50 えば $40 [Oe]$)の磁界を発生させる。これにより、図5(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部110には強度が $+H_a$ (正方向)の磁界 B_{11} が印加され、且つ、第2の情報記録部150には強度が $-H_a$ (負方向)の磁界 B_{21} が印加される。したがって、情報記録部110、150に形成された各強磁性体層111、113、151、153のうち、第1の情報記録部110の第1の強磁性体層111は負方向を向く。一方、第2の情報記録部150の第1の強磁性体層151は、磁化方向が外部磁界の方向と同じなので正の方向を向く。また、各情報記録部の110、150の第2の強磁性体層113、153は、上述したように反強磁性体層114、154(図3(A)では図示せず)との交換結合により、この磁界強度 H_a では磁界方向に係らず正の方向を向いたままである。

【0080】このため、第1の情報記録部110では2層の強磁性体層111、113の磁化方向が逆方向となり、また、第2の情報記録部150では2層の強磁性体層151、153の磁化方向は同方向となる。したがって、図5(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部110の抵抗は高抵抗となり、また、第2の情報記録部150の抵抗は低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子100に抵抗値の違いによる情報
「0」を記録することができ。

【0081】一方、このようにして磁気メモリ素子100に記録された情報を読出す場合には、第1の実施の形態の場合と同様、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部110の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部150の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値(ハイレベルまたはローレベル)として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部110は高抵抗であり、第2の情報記録部150は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $I = S_1 - S_2$ は正の値(すなわち正の信号レベル)となる。このようにして、磁気メモリ素子100に記録された情報「0」を読出すことができる。

【0082】また、この磁気メモリ素子100に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極130に負方向(すなわち図3(A)の紙面の表側から裏側へ

の方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_d の磁界を発生させる。これにより、図5(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部110には強度が $-H_d$ (負方向)の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部150には強度が $+H_d$ (正方向)の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層111、113、151、153のうち、第2の情報記録部150の第1の強磁性体層151は負方向を向き、他の強磁性体層111、113、153は正方向を向く。このため、第1の情報記録部110では2層の強磁性体層111、113の磁化方向が同方向となり、第2の情報記録部150では2層の強磁性体層151、153の磁化方向が逆方向となる。したがって、図5(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部110の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部150の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子100に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0083】一方、このようにして磁気メモリ素子100に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部150の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子100に記録された情報「1」(すなわち負の信号レベル)を読み出すことができる。

【0084】さらに、この磁気メモリ素子100に情報「2」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極130に負方向の電流を流して、磁界強度が H_b (例えば15[Oe])の磁界を発生させる。これにより、図5(B)の第3段に示したように、第1の情報記録部110には強度が $-H_b$ (負方向)の磁界 B_{13} が印加され、且つ、第2の情報記録部150には強度が $+H_b$ (正方向)の磁界 B_{23} が印加される。したがって、強磁性体層111、151は反転しない。このため、情報記録部110、150ともに2層の強磁性体層111、113および151、153の磁化方向が同方向となるので、図5(B)の第3段に示したように、情報記録部110、150の抵抗はともに低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子100に情報「2」を記録することができる。

【0085】一方、このようにして磁気メモリ素子100に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部150の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子100に記録された情報「2」(すなわち零レベル)を読み出すことができる。

【0086】このように、この実施の形態に係る磁気メモリ素子によれば、上述の第1の実施例の場合と同様、2個の情報記録部110、150を設けて情報を記録することとしたので、読出し時の出力信号値を従来の2倍にすることができるとともに、その分だけS/N比の向上も図ることができる。

【0087】また、2個の情報記録部110、150に対して1個の磁界形成用電極130を設ければよく、参照用の磁気メモリ素子を用いる必要もないので、高密度化が図り安く小面積化が容易となる。

【0088】さらに、1個の磁気メモリ素子に3値化情報を記録することができるので、第1の実施の形態の場合よりも、同一サイズでの記録容量を向上させることができる。

【0089】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部110が高抵抗で且つ第2の情報記録部150が低抵抗の場合の情報を「0」とし、第1の情報記録部110が低抵抗で且つ第2の情報記録部150が高抵抗の場合の情報を「1」とし、第1の情報記録部および第2の情報記録部がともに低抵抗の場合の情報を「2」としたが、抵抗と情報値との関係はこれに限定されるものではなく、任意に定めてよいことはもちろんである。

【0090】また、磁界形成用電極130に流す電流の方向と情報記録部110、150に流す定電流 I_1 、 I_2 の方向とが直交方向でなくてもよいことは、上述の第1の実施の形態の場合と同様である。

【0091】第3の実施の形態

次に、この発明の第3の実施の形態に係る磁気メモリ素子およびその情報記録方法について、図6～図8を用いて説明する。

【0092】図6(A)～(C)は、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を模式的に示す斜視図である。

【0093】同図(A)に示したように、この磁気メモリ素子600において、ガラス基板601上には6段の積層単位611からなる第1の情報記録部610が設けられ、この第1の情報記録部610上には例えば膜厚0.5 μ mのSiO₂膜からなる第1の絶縁層620が設けられ、この第1の絶縁層620上には例えば膜厚1.0 μ mのCu膜からなる磁界形成用電極630が設けられ、この磁界形成用電極630上には例えば膜厚0.5 μ mのSiO₂膜からなる第2の絶縁層640が設けられ、さらに、この第2の絶縁層640上には6段の積層単位651からなる第2の情報記録部650が設けられている。

【0094】ここで、第1の情報記録部610の各積層単位611は、同図(B)に示したように、例えば膜厚6.0nmのCo膜からなる第1の強磁性体層612と、この第1の強磁性体層612の表面に形成された例えば膜厚2.0nmのCu膜からなる非磁性体層613

10

20

30

40

50

と、この非磁性体層613の表面に形成された例えば膜厚60nmのNi₃₀Fe₂₅C₄₅膜からなる第2の強磁性体層614と、この第2の強磁性体層614の表面に形成された例えば膜厚20nmのCu膜からなる非磁性体層615とを備えている。なお、第1の強磁性体層612は、第2の強磁性体層614よりも大きい保磁力を有している。

【0095】一方、第2の情報記録部650の各積層単位651の構造も第1の情報記録部610の場合と同様であり、同図(C)に示したように、例えば膜厚60nmのCu膜からなる第1の強磁性体層652と、この第1の強磁性体層652の表面に形成された例えば膜厚20nmのCu膜からなる非磁性体層653と、この非磁性体層653の表面に形成された例えば膜厚60nmのNi₃₀Fe₂₅C₄₅膜からなる第2の強磁性体層654と、この第2の強磁性体層654の表面に形成された例えば膜厚20nmのCu膜からなる非磁性体層655とを備えている。この第2の情報記録部650でも、第1の強磁性体層652は、第2の強磁性体層654よりも大きい保磁力を有している。

【0096】このように、この実施の形態では、第1の情報記録部610および第2の情報記録部650において、各層の積層順序は同一となっている。

【0097】また、第1の情報記録部610の側面には、例えば膜厚が10μmのCu膜からなる抵抗値検出用電極661、662が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層612、614間に電流を流すことにより、各第1の強磁性体層612および各第2の強磁性体層614を並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することができる。

【0098】同様に、第2の情報記録部650の側面には、強磁性体層652、654に上記強磁性体層612、614と同一方向の電流を流すことができるように、例えば膜厚が10μmのCu膜からなる抵抗値検出用電極663、664が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層652、654間に電流を流すことにより、各第1の強磁性層651および各第2の強磁性層653を並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することができる。

【0099】このような構成の磁気メモリ素子は、それぞれ通常のスパッタリング法等の薄膜形成技術および通常のフォトリソグラフィを用いたエッチング技術を使用して、まず、第1の情報記録部610の積層構造を形成し、次に、抵抗値検出用電極661、662を形成し、第3に、絶縁層620、磁界形成用電極630および絶縁層640からなる積層構造を形成し、第4に、第2の情報記録部650の積層構造を形成し、最後に、抵抗値検出用電極663、664を形成することにより、作製することができる。

【0100】次に、図6に示した情報記録部610、6

50の特性について、図7を用いて説明する。

【0101】図7(A)および(B)は、第1の情報記録部610の磁気抵抗特性を直流四端子法で測定した結果を示すグラフである。

【0102】図7(A)は、第1の情報記録部610の磁気抵抗曲線を示すグラフであり、横軸は磁界の強度

【Oe】を、縦軸は強磁性体層612、613の磁化方向が同一であるときを基準とした抵抗値の変化率[%]を示している。また、同図において、符号gは磁界の強度を-400【Oe】から+400【Oe】まで増加させた場合であり、符号hは磁界の強度を+400【Oe】から-400【Oe】まで減少させた場合である。

【0103】図7(A)に示したように、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度を-400【Oe】から増加させていくと、この磁界強度が約-60

【Oe】を越えてから、各積層単位611に設けられた各第2の強磁性体層614の磁化方向がそれぞれ変化し、最後には反転する。一方、各積層単位611に設けられた各第1の強磁性体層612は、保磁力が大きいので、この磁界強度では反転しない。これにより、各積層単位611で第1の強磁性体層612の磁化方向と第2の強磁性体層614の磁化方向とか逆方向となるので、この第1の情報記録部610の電気抵抗(すなわち各第1の強磁性体層612と各第2の強磁性体層614とを並列接続して得られる合成抵抗)の値は約6.6%だけ増加する。

【0104】その後、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度をさらに増加させていき、この磁界強度が約+120【Oe】を越えると、各積層単位611で第1の強磁性体層612の磁化方向が変化し、最後には反転する。これにより、各第1の強磁性体層612の磁化方向と各第2の強磁性体層614の磁化方向とか同方向となるので、この第1の情報記録部610の電気抵抗は減少する。

【0105】一方、磁界形成用電極630に流す電流を変化させて第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度を+400【Oe】から減少させていった場合には、この磁界強度が約-60【Oe】よりも小さくなったときに、各積層単位611で第2の強磁性体層614の磁化方向のみが変化して第1の強磁性体層612の磁化方向と第2の強磁性体層614の磁化方向とか逆方向となり、第1の情報記録部610の電気抵抗が約6.6%だけ増加する。そして、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度をさらに減少させていき、この磁界強度が約-140【Oe】よりも小さくなると第1の強磁性体層612の磁化方向が変化してこの第1の強磁性体層612の磁化方向と第2の強磁性体層614の磁化方向とか同方向となり、第1の情報記録部610の電気抵抗は減少する。

【0106】このように、この実施の形態に係る第1の

50

50

50

50

50

50

情報記録部610も、第1の実施の形態の場合と同様、ヒステリシス特性を有している。

【0107】ここで、第1の情報記録部610に情報を記憶するためには、後述するように、第2の強磁性体層614の磁化方向のみを反転させ、第1の強磁性体層612の磁化方向は固定しておかなければならない。したがって、磁界形成用電極630に電流を流すことによって第1の情報記録部610に印加する外部磁界の強度は、約 -140 [Oe] から約 $+120$ [Oe] までの間で変化させる必要がある。

【0108】図7(B)は、第1の情報記録部610に印加する外部磁界の強度を約 -100 [Oe] から約 $+100$ [Oe] までの間で変化させたときの磁気抵抗曲線を示すグラフであり、横軸は磁界の強度 [Oe] を、縦軸は強磁性体層612、614の磁化方向が同一であるときを基準とした抵抗値の変化率 [%] を示している。また、同図において、iは磁界の強度を -100 [Oe] から $+100$ [Oe] まで増加させた場合であり、jは磁界の強度を $+100$ [Oe] から -100 [Oe] まで減少させた場合である。なお、このグラフは、予め情報記録部610に -200 [Oe] の外部磁界を与えて強磁性体層612、614の磁化方向を正方向にそろえた場合を示している。

【0109】図7(B)に示したように、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度を -100 [Oe] から増加させていった場合には、この磁界強度が約 $+60$ [Oe] を越えてから第2の強磁性体層614の磁化方向のみが反転して第1の強磁性体層612の磁化方向と第2の強磁性体層614の磁化方向とが逆方向となるので、第1の情報記録部610の電気抵抗が約6.4%だけ増加する。

【0110】一方、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度を $+100$ [Oe] から減少させていった場合には、この磁界強度が約 -20 [Oe] よりも小さくなってから第2の強磁性体層614の磁化方向のみが反転して第1の強磁性体層612の磁化方向と第2の強磁性体層614の磁化方向とが同方向となるので、第1の情報記録部610の電気抵抗が低下する。

【0111】したがって、磁界形成用電極630に電流を流すことによって第1の情報記録部610に印加する外部磁界の強度を例えば $+80$ [Oe] または -80 [Oe] とすることによって、この第1の情報記録部610に抵抗値の違いによる情報記録を行なうことができる。

【0112】なお、第2の情報記録部650に情報を記録する原理も、第1の情報記録部610の場合と同様である。ただし、この実施形態では、第1の情報記録部610と第2の情報記録部650とを磁界形成用電極630に対して逆の方向に設けているので、この磁界形成用電極630に電流を流したときに第2の情報記録部65

0に印加される外部磁界の方向は第1の情報記録部610とは逆となり、したがって第2の強磁性体層652の磁化方向も逆になる。

【0113】続いて、図6に示した磁気メモリ素子600の情報を記録する方法および読出す方法について、図8(A)および(B)を用いて説明する。

【0114】図8(A)は、この磁気メモリ素子600を用いて情報の記録および読出しを行なう際の回路構成を示す模式図である。図8(A)において、図6と同じ符号を付した構成部は、それぞれ、図6と同じものを示している。

【0115】図8(A)に示したように、第1の抵抗検出回路301は、抵抗値検出用電極661、662に接続されている。この第1の抵抗検出回路301は、これらの抵抗値検出用電極661、662を介して第1の情報記録部610に定電流 I_1 を流し、このときの電圧値から第1の情報記録部610の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_1 を出力する。

【0116】同様に、第2の抵抗検出回路302は抵抗値検出用電極663、664に接続されており、これらの抵抗値検出用電極663、664を介して第2の情報記録部650に定電流 I_2 を流したときの電圧値から第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_2 を出力する。

【0117】比較回路303は、信号 S_1 を+入力端子から入力するとともに信号 S_2 を-入力端子から入力して両信号の差 $S_1 - S_2$ を算出し、読出データDとして、出力端子304を介して外部に出力する。

【0118】磁界形成用電極630には、図示しない電流源によって、図面に垂直な方向の電流が供給される。すなわち、この磁界形成用電極630に流れる電流の方向は、上述した抵抗検出回路301、302によって情報記録部610、650に流される電流と直交する。

【0119】次に、図8(A)に示した回路を用いて磁気メモリ素子600に対する情報の記録および読出しを行なう際の動作について、図8(B)を用いて説明する。

【0120】磁気メモリ素子600に対しては、予め(例えば製造段階の最終工程等)、初期設定として、外部から情報記録部610、650に、磁界強度が例えば -200 [Oe] の同方向の磁界を印加する。これにより、情報記録部610、650に形成された各強磁性体層612、614、652、654(図8(A)では図示せず)の磁化方向は、すべて正方向に設定される。

【0121】そして、この磁気メモリ素子600に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極630に正方向(すなわち図8(A)の紙面の裏側から表側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が例えば 80 [Oe] の磁界を発生させる。これにより、図8(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部61

0には強度が+80 [Oe] (正方向)の磁界 B_{11} が印加され、且つ、第2の情報記録部650には強度が-80 [Oe] (負方向)の磁界 B_{21} が印加される。したがって、情報記録部610、650の各積層単位611、651に形成された各強磁性体層612、614、652、654のうち、第1の情報記録部610の各積層単位611に形成された第2の強磁性体層614のみが反転して負方向を向く。一方、第2の情報記録部650の各積層単位651に設けられた第2の強磁性体層654は、磁化方向が外部磁界の方向と同じなので反転しない。また、各情報記録部610、650の各積層単位611、651に設けられた第1の強磁性体層612、652は、上述したように保磁力が大きいので、この磁界強度(80 [Oe])では磁界方向に係らず反転しない。

【0122】このため、第1の情報記録部610の各積層単位611では2層の強磁性体層612、614の磁化方向が逆方向であり、また、第2の情報記録部650の各積層単位では2層の強磁性体層652、654の磁化方向は同方向となる。したがって、図8(B)の第1

【0123】一方、このようにして磁気メモリ素子600に記録された情報を読み出す場合には、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部610の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値(ハイレベルまたはローレベル)として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部610は高抵抗であり、第2の情報記録部650は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $D=S_1-S_2$ は正の値(すなわち正の信号レベル)となる。このようにして、磁気メモリ素子600に記録された情報「0」を読み出すことができる。

【0124】また、この磁気メモリ素子600に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極630に負方向(すなわち図8(A)の紙面の表側から裏側の方向)の電流を流すことにより、磁界強度が例えば80 [Oe]の磁界を発生させる。これにより、図8

(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部610には強度が-80 [Oe] (負方向)の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部650には強度が+80 [Oe] (正方向)の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層612、614、652、654のうち、第2の情報記録部650の積層単位651に形成

された第2の強磁性体層654のみが反転して負方向を向き、他の強磁性体層612、614、652は反転しない。このため、第1の情報記録部610では2層の強磁性体層612、614の磁化方向が同方向となり、第2の情報記録部650では2層の強磁性体層652、654の磁化方向が逆方向となる。したがって、図8

(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部610の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部650の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子600に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0125】一方、このようにして磁気メモリ素子600に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部610の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子600に記録された情報「1」(すなわち負の信号レベル)を読み出すことができる。

【0126】このようにして、この実施の形態に係る磁気メモリ素子600は、上述の第1の実施の形態および第2の実施の形態と同様に、読み出し時の出力信号値および S_1/N 比の向上を図ることができ、また、高密度化・小面積化が容易となる。

【0127】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部610の各積層単位611と第2の情報記録部650の各積層単位651とで各層の積層順序を同一にしたが、逆の積層順序にしてもよい。

【0128】また、この実施の形態では、積層単位611、651をそれぞれ6個ずつ設けることとしたが、1個ずつ以上であれば何個ずつ設けてもよい。

【0129】さらに、この実施の形態では、第1の情報記録部610が高抵抗で且つ第2の情報記録部650が低抵抗の場合の情報を「0」とし、第1の情報記録部610が低抵抗で且つ第2の情報記録部650が高抵抗の場合の情報を「1」としたが、この逆であってもよいことはもちろんである。

【0130】加えて、この実施の形態では磁界形成用電極630に流す電流の方向と情報記録部610、650に流す定電流 I_1 、 I_2 の方向とが直交方向でなくてもよい点は、上述の各実施の形態の場合と同様である。

【0131】併せて、強磁性体層612、614、652、654の形成材料は、例えばFe、Ni等であってもよい。

【0132】第4の実施の形態

次に、この発明の第4の実施の形態について説明する。

【0133】この実施の形態は、上述の第3の実施の形態と同じ構造の磁気メモリ素子に3値化情報を記録するものである。すなわち、磁気メモリ素子は第3の実施の

形態と同じであるが、情報記録方法が第3の実施の形態と異なる。

【0134】したがって、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造については、説明を省略する。

【0135】以下、この実施の形態に係る情報記録方法について、図6、図9および図10を用いて説明する。

【0136】まず、図6に示した情報記録部610、650の特性について、図9を用いて説明する。

【0137】図9は、第1の情報記録部610の磁気抵抗特性を説明するためのグラフであり、図7(B)を模式化したものである。このグラフにおいて、横軸は磁界の強度 $[Oe]$ を、縦軸は抵抗値の変化率 $[\%]$ を、それぞれ規格化したものである。

【0138】図9および図7(B)から判るように、第1の情報記録部610に印加される外部磁界の強度を $-100[Oe]$ から増加させていった場合(符号k参照)に第2の強磁性体層614の磁化方向が反転する磁界強度(約 $+60[Oe]$)の絶対値とこの外部磁界の強度を $+100[Oe]$ から減少させていった場合(符号l参照)に第2の強磁性体層614の磁化方向が反転する磁界強度(約 $-30[Oe]$)の絶対値とは同じ値にはならず、このため、図9のグラフは縦軸に対して非対称となっている。これは、各強磁性体612、614間の磁気的な結合に起因するものである。

【0139】したがって、図9に示したように、この情報記録部610に対して印加する外部磁界の強度が $+H_a$ のときは第2の強磁性体層614が反転して高抵抗となるが磁界の強度が $+H_b$ のときは低抵抗となり、且つ、磁界の強度が $-H_a$ のときおよび $-H_b$ のときはともに低抵抗となるように、磁界の強度の絶対値 H_a および H_b を定めることにより、第2の実施の形態の場合と同様にして、3値化情報の記録を行なうことが可能となる。

【0140】なお、第2の情報記録部650に情報を記録する原理も、第1の情報記録部610の場合と同様である。

【0141】続いて、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の情報を記録する方法および読出す方法について、図10(A)および(B)を用いて説明する。

【0142】図10(A)において、図8(A)と同じ符号を付した構成部は、それぞれ図8(A)と同じものを示している。すなわち、図10(A)に示したこの実施の形態の読出し回路の構成は図8(A)と同一であり、磁界形成用電極630に供給される電流(したがって情報記録部610、650に印加される外部磁界)にのみ第3の実施の形態との差異がある。

【0143】また、予め初期設定として、外部から各情報記録部610、650に、磁界強度が例えば $-300[Oe]$ の同方向の磁界を印加して各強磁性体層612、614、652、654(図10(A)では図示せ

ず)の磁化方向をすべて正方向に設定しておく点も、第3の実施の形態の場合と同様である。

【0144】まず、この磁気メモリ素子600に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極630に正方向(すなわち図10(A)の紙面の裏側から表側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_a (例えば $80[Oe]$)の磁界を発生させる。これにより、図10(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部610には強度が $+H_a$ (正方向)の磁界 B_{11} が印加され、且つ、第2の情報記録部650には強度が $-H_a$ (負方向)の磁界 B_{21} が印加される。したがって、情報記録部610、650の各積層単位611、651に形成された各強磁性体層612、614、652、654のうち、第1の情報記録部610の第2の強磁性体層614は負方向を向く。一方、第2の情報記録部650の第2の強磁性体層654は、磁化方向が外部磁界の方向と逆なので正の方向を向く。また、各情報記録部の610、650の第1の強磁性体層612、652は、上述したように保磁力が大きいため、この磁界強度 H_a では磁界方向に係らず正の方向を向いたままである。

【0145】このため、第1の情報記録部610では各積層単位611の強磁性体層612、614の磁化方向が逆方向となり、また、第2の情報記録部650では各積層単位651の強磁性体層652、654の磁化方向は同方向となる。したがって、図10(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部610の抵抗は高抵抗となり、また、第2の情報記録部650の抵抗は低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子600に抵抗値の違いによる情報「0」を記録することができる。

【0146】一方、このようにして磁気メモリ素子600に記録された情報を読出す場合には、第1の実施の形態の場合と同様、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部610の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値(ハイレベルまたはローレベル)として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部610は高抵抗であり、第2の情報記録部650は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $D = S_1 - S_2$ は正の値(すなわち正の信号レベル)となる。このようにして、磁気メモリ素子600に記録された情報「0」を読出すことができる。

【0147】また、この磁気メモリ素子600に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極630に負方向(すなわち図10(A)の紙面の表側から裏側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_a の磁界を発生させる。これにより、図10(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部610には強度が $-$

H_d (負方向)の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部650には強度が $+H_d$ (正方向)の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層612、614、652、654のうち、第2の情報記録部650の第1の強磁性体層652は負方向を向き、他の強磁性体層612、614、654は正方向を向く。このため、第1の情報記録部610では各積層単位611の強磁性体層612、614の磁化方向が同方向となり、第2の情報記録部650では各積層単位651の強磁性体層652、654の磁化方向が逆方向となる。したがって、図10(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部610の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部650の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子600に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0148】一方、このようにして磁気メモリ素子600に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部610の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子600に記録された情報「1」(すなわち負の信号レベル)を読み出すことができる。

【0149】さらに、この磁気メモリ素子600に情報「2」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極630に負方向の電流を流して、磁界強度が $-H_d$ (例えば -40 [Oe])の磁界を発生させる。これにより、図10(B)の第3段に示したように、第1の情報記録部610には強度が $-H_d$ (負方向)の磁界 B_{13} が印加され、且つ、第2の情報記録部650には強度が $+H_d$ (正方向)の磁界 B_{23} が印加される。したがって、強磁性体層614、654はともに正方向となる。このため、情報記録部610、650ともに各積層単位611、651の強磁性体層612、614および652、654の磁化方向が同方向となるので、図10(B)の第3段に示したように、情報記録部610、650の抵抗はともに低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子600に情報「2」を記録することができる。

【0150】一方、このようにして磁気メモリ素子600に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部610の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部650の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子600に記録された情報「2」(すなわち零レベル)を読み出すことができる。

【0151】このように、この実施の形態に係る磁気メモリ素子によれば、上述の第1～第3の実施例の場合と

同様にして、出力信号値および S_1 、 S_2 比の向上を図ることができ、また、高密度化および小面積化が容易となる。

【0152】さらに、上述の第2の実施の形態の場合と同様、1個の磁気メモリ素子に3値化情報を記録することができるので記録容量を向上させることができる。

【0153】なお、第1の情報記録部610および第2の情報記録部650の抵抗値と情報値との関係が限定されるものではない点は、上述の第2の実施の形態と同様である。

【0154】また、磁界形成用電極630に流す電流の方向と情報記録部610、650に流す電流の方向とが直交方向でなくてもよいことは、上述の各実施の形態の場合と同様である。

【0155】第5の実施の形態

次に、この発明の第5の実施の形態に係る磁気メモリ素子およびその情報記録方法について、図11～図13を用いて説明する。

【0156】図11は、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を模式的に示す斜視図である。

【0157】同図に示したように、この磁気メモリ素子1100において、ガラス基板1101上には第1の情報記録部1110が設けられ、この第1の情報記録部1110上には例えば膜厚 $1.0 \mu\text{m}$ のCu膜からなる磁界形成用電極1120が設けられ、さらに、この磁界形成用電極1120上には第2の情報記録部1130が設けられている。

【0158】ここで、第1の情報記録部1110は、例えば膜厚 10.0 nm の $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{25}\text{Co}_{45}$ 膜からなる第1の強磁性体層1111と、この第1の強磁性体層1111の表面に形成された例えば膜厚 2.0 nm のCu膜からなる非磁性体層1112と、この非磁性体層1112の表面に形成された例えば膜厚 2.0 nm の $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{25}\text{Co}_{45}$ 膜からなる第2の強磁性体層1113と、この第2の強磁性体層1113の表面に形成された例えば膜厚 $2.7.0 \text{ nm}$ のNiO膜からなる反強磁性体層1114とを備えている。

【0159】一方、第2の情報記録部1130は、例えば膜厚 $2.7.0 \text{ nm}$ のNiO膜からなる反強磁性体層1134と、この反強磁性体層1134の表面に形成された例えば膜厚 2.0 nm の $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{25}\text{Co}_{45}$ 膜からなる第2の強磁性体層1133と、この第2の強磁性体層1133の表面に形成された例えば膜厚 2.0 nm のCu膜からなる非磁性体層1132と、この非磁性体層1132の表面に設けられた例えば膜厚 10.0 nm の $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{25}\text{Co}_{45}$ 膜からなる第1の強磁性体層1131とを備えている。

【0160】このように、この実施の形態では、第1の情報記録部1110および第2の情報記録部1130において、各層の積層順序は逆になっている。

【0161】また、第1の情報記録部1110の側面には、例えば膜厚が $1.0\mu\text{m}$ のCu膜からなる抵抗値検出用電極1141、1142が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層1111、1113に電流を流すことにより、第1の強磁性体層1111と第2の強磁性体層1113とを並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することができる。

【0162】これと同様に、第2の情報記録部1130の側面には、強磁性体層1131、1133に上述の強磁性体層1111、1113と同一方向の電流を流すことができるように、例えば膜厚が $1.0\mu\text{m}$ のCu膜からなる抵抗値検出用電極1143、1144が、互に対向するように形成されている。そして、これらの強磁性体層1131、1133に電流を流すことにより、第1の強磁性体層1131と第2の強磁性体層1133とを並列に接続してなる合成抵抗の値を測定することができる。

【0163】このような構成の磁気メモリ素子は、それぞれ通常のスパッタリング法等の薄膜形成技術および通常のフォトリソグラフィを用いたエッチング技術を使用して、まず、第1の強磁性体層1111、非磁性体層1112および第2の強磁性体層1113からなる積層構造を形成し、次に、抵抗検出用電極1141、1142を形成し、第3に、反強磁性体層1114、磁界形成用電極1120および反強磁性体層1134からなる積層構造を形成し、第4に、第2の強磁性体層1133、非磁性体層1132および第1の強磁性体層1131からなる積層構造を形成し、最後に、抵抗検出用電極1143、1144を形成することにより、作製することができる。

【0164】次に、図11に示した情報記録部1110、1130の特性について、図12を用いて説明する。

【0165】図12(A)および(B)は、第1の情報記録部1110の磁気抵抗特性を直流四端子法で測定した結果を示すグラフである。

【0166】図12(A)は、第1の情報記録部1110の磁気抵抗曲線を示すグラフであり、横軸は磁界の強度 $[\text{Oe}]$ を、縦軸は強磁性体層1111、1113の磁化方向が同一であるときの基準とした抵抗値の変化率 $[\%]$ を示している。また、同図において、mは磁界の強度を $-800[\text{Oe}]$ から $+800[\text{Oe}]$ まで増加させた場合であり、nは磁界の強度を $+800[\text{Oe}]$ から $-800[\text{Oe}]$ まで減少させた場合である。

【0167】図12(A)に示したように、第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度を $-800[\text{Oe}]$ から増加させていくと、この磁界強度が約 $+20[\text{Oe}]$ を越えてから第1の強磁性体層1111の磁化方向が変化し、最後には反転する。一方、第2の強磁性体層1113は、反強磁性体層1114との交換結合

により、この磁界強度では反転しない。これにより、第1の強磁性体層1111の磁化方向と第2の強磁性体層1113の磁化方向とが逆方向となるので、この第1の情報記録部1110の電気抵抗の値は約6.0%だけ増加する。

【0168】その後、第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度をさらに増加させていくと第2の強磁性体層1113の磁化方向が徐々に変化し、最後には反転する。これにより、強磁性体層1111、1113の磁化方向が同方向となるので、この第1の情報記録部1110の電気抵抗は減少する。

【0169】一方、磁界形成用電極1120に流す電流を変化させて第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度を $+800[\text{Oe}]$ から減少させていった場合には、この磁界強度が約 $-10[\text{Oe}]$ よりも小さくなってから、第1の強磁性体層1111の磁化方向のみが変化し、最後には反転して強磁性体層1111、1113の磁化方向が逆方向となり、第1の情報記録部1110の電気抵抗が約5.8%だけ増加する。そして、第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度をさらに減少させていくと第2の強磁性体層1113の磁化方向が徐々に傾き、この磁界強度が約 $-500[\text{Oe}]$ に達すると反転して強磁性体層1111、1113の磁化方向が同方向となり、第1の情報記録部1110の電気抵抗は減少する。

【0170】このように、この実施の形態による第1の情報記録部1110も、ヒステリシス特性を有している。

【0171】ここで、第1の情報記録部1110に情報を記憶するためには、後述するように、第1の強磁性体層1111の磁化方向のみを反転させ、第2の強磁性体層1113の磁化方向は固定しておかなければならない。したがって、磁界形成用電極1120に電流を流すことによって第1の情報記録部1110に印加する外部磁界の強度は、例えば約 $-40[\text{Oe}]$ から約 $+40[\text{Oe}]$ までの間で変化させることが望ましい。

【0172】図12(B)は、第1の情報記録部1110に印加する外部磁界の強度を約 $-40[\text{Oe}]$ から約 $+40[\text{Oe}]$ までの間で変化させたときの磁気抵抗曲線を示すグラフであり、横軸は磁界の強度 $[\text{Oe}]$ を、縦軸は強磁性体層1111、1113の磁化方向が同一であるときの基準とした抵抗値の変化率 $[\%]$ を示している。また、同図において、符号oは磁界の強度を $-40[\text{Oe}]$ から $+40[\text{Oe}]$ まで増加させた場合であり、符号pは磁界の強度を $+40[\text{Oe}]$ から $-40[\text{Oe}]$ まで減少させた場合である。なお、このグラフは、予め情報記憶部1110に $-500[\text{Oe}]$ の外部磁界を与えて強磁性体層1111、1113の磁化方向を正方向にそろえた場合を示している。

【0173】図12(B)に示したように、第1の情報

記録部1110に印加される外部磁界の強度を -40

【Oe】から増加させていった場合には、この磁界強度が約 $+20$ 【Oe】を越えてから第1の強磁性体層1111の磁化方向のみが反転して強磁性体層1111、1113の磁化方向が逆方向となるので、第1の情報記録部1110の電気抵抗が約6、4%だけ増加する。

【0174】一方、第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度を $+40$ 【Oe】から減少させていった場合には、この磁界強度が約 -10 【Oe】よりも小さくなってから第1の強磁性体層1111の磁化方向のみが反転して強磁性体層1111、1113の磁化方向が同方向となるので、第1の情報記録部1110の電気抵抗が低下する。

【0175】したがって、磁界形成用電極1120に電流を流すことによって第1の情報記録部1110に印加する外部磁界の強度を例えば $+30$ 【Oe】または -30 【Oe】とすることにより、この第1の情報記録部1110に抵抗値の違いによる情報記録を行なうことができる。

【0176】なお、第2の情報記録部1130に情報を記録する原理も、第1の情報記録部1110の場合と同様である。ただし、この実施形態では、第1の情報記録部1110と第2の情報記録部1130とを磁界形成用電極1120に対して逆の方向に設けているので、この磁界形成用電極1120に電流を流したときに第2の情報記録部1130に印加される外部磁界の方向は第1の情報記録部1110とは逆となり、したがって第1の強磁性体層1131の磁化方向も逆になる。

【0177】続いて、図11に示した磁気メモリ素子1100の情報を記録する方法および読出す方法について、図13(A)および(B)を用いて説明する。

【0178】図13(A)は、この磁気メモリ素子1100を用いて情報の記録および読出しを行なう際の回路構成を示す模式図である。図13(A)において、図11と同じ符号を付した構成部は、それぞれ、図11と同じものを示している。

【0179】図13(A)に示したように、第1の抵抗検出回路301は、抵抗値検出用電極1141、1142に接続されている。この第1の抵抗検出回路301は、これらの抵抗値検出用電極1141、1142を介して第1の情報記録部1110に定電流 I_1 を流し、このときの電圧値から第1の情報記録部1110の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_1 を出力する。

【0180】同様に、第2の抵抗検出回路302は抵抗値検出用電極1143、1144に接続されており、これらの抵抗値検出用電極1143、1144を介して第2の情報記録部1130に定電流 I_2 を流したときの電圧値から第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、この検出結果を示す信号 S_2 を出力する。

【0181】比較回路303は、信号 S_1 を+入力端子から入力するとともに信号 S_2 を-入力端子から入力して両信号の差 $S_1 - S_2$ を算出し、読出データDとして、出力端子304を介して外部に出力する。

【0182】磁界形成用電極1120には、図示しない電流源によって、図面に垂直な方向の電流が供給される。すなわち、この磁界形成用電極1120に流れる電流の方向は、上述した抵抗検出回路301、302によって情報記録部1110、1130に流される電流と直交する。

【0183】次に、図13(A)に示した回路を用いて磁気メモリ素子1100に対する情報の記録および読出しを行なう際の動作について、図13(B)を用いて説明する。

【0184】磁気メモリ素子1100に対しては、予め（例えば製造工程の最終段階）、初期設定として、外部から情報記録部1110、1130に、磁界強度が例えば -700 【Oe】の同方向の磁界を印加する。これにより、情報記録部1110、1130に形成された各強磁性体層1111、1113、1131、1133（図13(A)では図示せず）の磁化方向は、すべて正方向に設定される。

【0185】そして、この磁気メモリ素子1100に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極1120に正方向（すなわち図13(A)の紙面の裏側から表側への方向）の電流を流すことにより、磁界強度が例えば 30 【Oe】の磁界を発生させる。これにより、図13(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部1110には強度が $+30$ 【Oe】（正方向）の磁界 B_1 が印加され、且つ、第2の情報記録部1130には強度が -30 【Oe】（負方向）の磁界 B_2 が印加される。したがって、情報記録部1110、1130の各強磁性体層1111、1113、1131、1133のうち、第1の情報記録部1110の第1の強磁性体層1111のみが反転して負方向を向く。一方、第2の情報記録部1130の第1の強磁性体層1131は、磁化方向が外部磁界の方向と同じなので反転しない。また、各情報記録部1110、1130の第2の強磁性体層1113、1133は、反強磁性体層1114、1134との交換結合のために、この磁界強度（ 30 【Oe】）では磁界方向に係らず反転しない。

【0186】このため、第1の情報記録部1110では2層の強磁性体層1111、1113の磁化方向が逆方向であり、また、第2の情報記録部1130の強磁性体層1131、1133の磁化方向は同方向となる。したがって、図13(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部1110の抵抗は高抵抗となり、また、第2の情報記録部1130の抵抗は低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子1100に抵抗値の違いによる情報「0」を記録することができる。

【0187】一方、このようにして磁気メモリ素子1100に記録された情報を読み出す場合には、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部1110の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値（ハイレベルまたはローレベル）として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部1110は高抵抗であり、第2の情報記録部1130は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $D = S_1 - S_2$ は正の値（すなわち正の信号レベル）となる。このようにして、磁気メモリ素子1100に記録された情報「0」を読み出すことができる。

【0188】また、この磁気メモリ素子1100に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極1120に負方向（すなわち図13（A）の紙面の表側から裏側への方向）の電流を流すことにより、磁界強度が例えば30 [Oe]の磁界を発生させる。これにより、図13（B）の第2段に示したように、第1の情報記録部1110には強度が-30 [Oe]（負方向）の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部1130には強度が+30 [Oe]（正方向）の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層1111、1113、1131、1133のうち、第2の情報記録部1130の第1の強磁性体層1131のみが反転して負方向を向き、他の強磁性体層1111、1113、1133は反転しない。このため、第1の情報記録部1110では2層の強磁性体層1111、1113の磁化方向が同方向となり、第2の情報記録部1130では2層の強磁性体層1131、1133の磁化方向が逆方向となる。したがって、図13（B）の第2段に示したように、第1の情報記録部1110の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部1130の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子1100に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0189】一方、このようにして磁気メモリ素子1100に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部1110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子1100に記録された情報「1」（すなわち負の信号レベル）を読み出すことができる。

【0190】このように、この実施の形態に係る磁気メモリ素子1100によれば、情報記録部1110、1130と磁界形成用電極1120との間に絶縁層を設ける必要がないので、上述の各実施の形態の場合よりも製造プロセスを簡略化することが可能となる。

【0191】また、読出し時の出力信号値および S_1/N 比の向上を図ることかできる点および高密度化・小面積化が容易となる点は、上述の第1～第4の実施の形態と同様である。

【0192】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部1110と第2の情報記録部1130とで各層の積層順序を逆にしたが、同一の積層順序にしてもよい。

【0193】また、この実施の形態では、情報記録部1110、1130において、各層1111～1114からなる積層単位および各層1131～1134からなる積層単位をそれぞれ1個ずつ設けることとしたが、それぞれ2個以上設けることとしてもよい。

【0194】さらに、この実施の形態では、第1の情報記録部1110が高抵抗で且つ第2の情報記録部1130が低抵抗の場合の情報を「0」とし、第1の情報記録部1110が低抵抗で且つ第2の情報記録部1130が高抵抗の場合の情報を「1」としたが、この逆であってもよいことはもちろんである。

【0195】加えて、この実施の形態では、磁界形成用電極1120に流す電流の方向と情報記録部1110、1130に流す定電流 I_1 、 I_2 の方向とを直交方向としたが、このような方向に限定されるものではなく、記録・読出しが可能な範囲で任意に設定することができる。

【0196】併せて、強磁性体層1111、1113、1131、1133の形成材料は、他の強磁性材料、例えばCo、Fe、Ni等であってもよい。

【0197】さらに、反強磁性体層1114、1134の形成材料は、例えばCoOや $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 等であってもよい。

【0198】第6の実施の形態

次に、この発明の第6の実施の形態について説明する。

【0199】この実施の形態は、上述の第5の実施の形態と同じ構造の磁気メモリ素子に3値化情報を記録するものである。すなわち、磁気メモリ素子は第5の実施の形態と同じであるが、情報記録方法が第5の実施の形態と異なる。

【0200】したがって、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造については、説明を省略する。

【0201】以下、この実施の形態に係る情報記録方法について、図11、図14および図15を用いて説明する。

【0202】まず、図11に示した情報記録部1110、1130の特性について、図14を用いて説明する。

【0203】図14は、第1の情報記録部1110の磁気抵抗特性を説明するためのグラフであり、図12

（B）を模式化したものである。このグラフにおいて、横軸は磁界の強度 [Oe] を、縦軸は抵抗値の変化率 [%] を、それぞれ規格化したものである。

【0204】図14および図12(B)から判るように、第1の情報記録部1110に印加される外部磁界の強度を -40 [Oe] から増加させていった場合(符号q参照)に第1の強磁性体層1111の磁化方向が反転する磁界強度(約 $+20$ [Oe])の絶対値とこの外部磁界の強度を $+40$ [Oe] から減少させていった場合(符号r参照)に第1の強磁性体層1111の磁化方向が反転する磁界強度(約 -10 [Oe])の絶対値とは同じ値にはならず、このため、図14のグラフは縦軸に対して非対称となっている。これは、各強磁性体層1111、1113間の磁気的な結合に起因するものである。

【0205】したがって、図14に示したように、この磁気記録部1110に対して印加する外部磁界の強度が $+H_a$ のときは第2の強磁性体層1113が反転して高抵抗となるが磁界の強度が $+H_b$ のときは低抵抗となり、且つ、磁界の強度が $-H_a$ のときおよび $-H_b$ のときはともに低抵抗となるように、磁界の強度の絶対値 H_a および H_b を定めることにより、第2、第4の実施の形態の場合と同様にして、3値化情報の記録を行なうことが可能となる。

【0206】なお、第2の情報記録部1130に情報を記録する原理も、第1の情報記録部1110の場合と同様である。

【0207】続いて、この実施の形態に係る磁気メモリ素子の情報を記録する方法および読出す方法について、図15(A)および(B)を用いて説明する。

【0208】図15(A)において、図13(A)と同じ符号を付した構成部は、それぞれ図13(A)と同じものを示している。すなわち、図15(A)に示したこの実施の形態の読出し回路の構成は図13(A)と同一であり、磁界形成用電極1120に供給される電流(したがって情報記録部1110、1130に印加される外部磁界)にのみ第5の実施の形態との差異がある。

【0209】また、予め初期設定として、外部から各情報記録部1110、1130に、磁界強度が例えば -500 [Oe] の同方向の磁界を印加して各強磁性体層1111、1113、1131、1133(図15(A)では図示せず)の磁化方向をすべて正方向に設定しておく点も、上述の第5の実施の形態の場合と同様である。

【0210】まず、この磁気メモリ素子1100に情報「0」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極1120に正方向(すなわち図15(A)の紙面の裏側から表側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_a (例えば 40 [Oe])の磁界を発生させる。これにより、図15(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部1110には強度が $+H_a$ (正方向)の磁界 B_{11} が印加され、且つ、第2の情報記録部1130には強度が $-H_a$ (負方向)の磁界 B_{12} が印加される。したがって、情報記録部1110、1130の各強磁性体層11

11、1113、1131、1133のうち、第1の情報記録部1110の第1の強磁性体層1111は負方向を向く。一方、第2の情報記録部1130の第1の強磁性体層1131は、磁化方向が外部磁界の方向と逆なので正の方向を向く。また、各情報記録部1110、1130の第2の強磁性体層1113、1133は、反強磁性体層1114、1134(図15では図示せず)との交換結合により、この磁界強度 H_a では磁界方向に係らず正の方向を向いたままである。

【0211】このため、第1の情報記録部1110では強磁性体層1111、1113の磁化方向が逆方向となり、また、第2の情報記録部1130では強磁性体層1131、1133の磁化方向は同一方向となる。したがって、図15(B)の第1段に示したように、第1の情報記録部1110の抵抗は高抵抗となり、また、第2の情報記録部1130の抵抗は低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子1100に抵抗値の違いによる情報「0」を記録することができる。

【0212】一方、このようにして磁気メモリ素子1100に記録された情報を読み出す場合には、第1の実施の形態の場合と同様、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部1110の抵抗を検出すると同時に、第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、検出結果を信号 S_1 、 S_2 の信号値(ハイレベルまたはローレベル)として出力する。上述したように、このとき第1の情報記録部1110は高抵抗であり、第2の情報記録部1130は低抵抗であるので、信号 S_1 はハイレベルとなり、信号 S_2 はローレベルとなる。したがって、比較回路303の出力は $D=S_1-S_2$ は正の値(すなわち正の信号レベル)となる。このようにして、磁気メモリ素子1100に記録された情報「0」を読み出すことができる。

【0213】また、この磁気メモリ素子1100に情報「1」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極1120に負方向(すなわち図15(A)の紙面の表側から裏側への方向)の電流を流すことにより、磁界強度が H_a の磁界を発生させる。これにより、図15(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部1110には強度が $-H_a$ (負方向)の磁界 B_{12} が印加され、且つ、第2の情報記録部1130には強度が $+H_a$ (正方向)の磁界 B_{22} が印加される。したがって、各強磁性体層1111、1113、1131、1133のうち、第2の情報記録部1130の第1の強磁性体層1131は負方向を向き、他の強磁性体層1111、1113、1133は正方向を向く。このため、第1の情報記録部1110では強磁性体層1111、1113の磁化方向が同方向となり、第2の情報記録部1130では強磁性体層1131、1133の磁化方向が逆方向となる。したがって、図15(B)の第2段に示したように、第1の情報記録部1110の抵抗は低抵抗となり、第2の情報記録部1

130の抵抗は高抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子1100に抵抗値の違いによる情報「1」を記録することができる。

【0214】一方、このようにして磁気メモリ素子1100に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部1110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子1100に記録された情報「1」（すなわち負の信号レベル）を読み出すことができる。

【0215】さらに、この磁気メモリ素子1100に情報「2」を書込む場合には、例えば磁界形成用電極1120に負方向の電流を流して、磁界強度が H_b （例えば15 [Oe]）の磁界を発生させる。これにより、図15（B）の第3段に示したように、第1の情報記録部1110には強度が $-H_b$ （負方向）の磁界 B_{13} が印加され、且つ、第2の情報記録部1130には強度が $+H_b$ （正方向）の磁界 B_{23} が印加される。したがって、強磁性体層1113、1133は、ともに正方向となる。このため、情報記録部1110、1130ともに強磁性体層1111、1113および1131、1133の磁化方向が同方向となるので、図15（B）の第3段に示したように、情報記録部1110、1130の抵抗はともに低抵抗となる。そして、これにより、磁気メモリ素子1100に情報「2」を記録することができる。

【0216】一方、このようにして磁気メモリ素子1100に記録された情報を読み出す場合には、上述の場合と同様に、第1の抵抗検出回路301によって第1の情報記録部1110の抵抗を検出するとともに第2の抵抗検出回路302によって第2の情報記録部1130の抵抗を検出する。そして、これらの検出結果を示す信号 S_1 、 S_2 を比較回路303で比較することにより、磁気メモリ素子1100に記録された情報「2」（すなわち零レベル）を読み出すことができる。

【0217】このように、この実施の形態に係る磁気メモリ素子によれば、上述の各実施の形態の場合と同様、出力信号値および S/N 比の向上を図ることができ、また、高密度化および小面積化が容易となる。

【0218】さらに、上述の第2、第4の実施の形態の場合と同様、1個の磁気メモリ素子に3値化情報を記録することができるので、記録容量を向上させることが可能となる。

【0219】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部1110と第2の情報記録部1130とで各層の積層順序を同じにしてもよい点、情報記録部を磁界形成用電極の上側と下側にそれぞれ情報記録部を複数個ずつ設けることとしてもよい点、および、磁界形成用電極1120に流す定電流 I_1 、 I_2 と情報記録部1110、1

130に流す電流とを直交方向に限定しなくてもよい点は、第1～第5の実施の形態の場合と同じである。

【0220】さらに、この実施の形態でも、第1の情報記録部および第2の情報記録部の抵抗値と情報値との関係が限定されるものではない点は、上述の第2、第4の実施の形態と同様である。

【0221】第7の実施の形態

次に、この発明の第7の実施の形態として、第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子100（図1参照）を用いた情報記憶装置の実施の形態の一例について、図16を用いて説明する。

【0222】図16に示したように、この実施の形態に係る情報記憶装置では、磁気メモリ素子100からなる $u \cdot v$ 個の磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ がマトリクス状に配列されており、これによってメモリセルアレイを構成している。なお、図16では簡略化のために $M_{11} \sim M_{22}$ のみを示している。

【0223】また、第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ は同一行の各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の磁界形成用電極（図示せず）の一端にそれぞれ接続されており、第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ は同一列の各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の磁界形成用電極130の他端にそれぞれ接続されている。

【0224】さらに、第1の抵抗値検出線 $A_1 \sim A_u$ は、同一行の各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の抵抗値検出用電極161、163（図16では図示せず）を介して、第1の情報記録部110および第2の情報記録部150の各強磁性体層111、113、151、153（図16では図示せず）の一端と接続されている。一方、第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_v$ は、同一列の各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の抵抗値検出用電極162（図16では図示せず）を介して、第1の情報記録部110の各強磁性体層111、113の他端と接続されている。同様に、第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_v$ は、同一列の各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の抵抗値検出用電極164（図16では図示せず）を介して、第2の情報記録部150の各強磁性体層151、153の他端と接続されている。

【0225】ここで、第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ は記録用行選択回路1601に、第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ は記録用列選択回路1602に、それぞれ接続されている。かかる記録用行選択回路1601と記録用列選択回路1602とは、第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ および第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ からそれぞれ1本ずつを選択することかできる。そして、選択された2本の電流供給線を用いて、磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の磁界形成用電極130に正方向および負方向のいずれの電流を流すこともできる。すなわち、かかる記録用行選択回路1601と記録用列選択回路1602とが、この発明の記録制御手段を構成している。

【0226】一方、第1の抵抗値検出線 $A_1 \sim A_0$ は読出行選択回路1603に、第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_0$ および第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_0$ は読出用列選択回路1604に、それぞれ接続されている。読出行選択回路1603は第1の抵抗値検出線 $A_1 \sim A_0$ から1本の検出線を選択することができ、また、読出用列選択回路1604は、第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_0$ および第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_0$ から同じ列のものを1本ずつ選択することができる。そして、選択された各検出線を用いて、第1の抵抗値検出線 $A_1 \sim A_0$ 側から第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_0$ 側に流れる定電流（すなわち図1の抵抗値検出用電極161から抵抗値検出用電極162に流れる定電流 I_1 ）および第1の抵抗値検出線 $A_1 \sim A_0$ 側から第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_0$ 側に流れる定電流（すなわち図1の抵抗値検出用電極163から抵抗値検出用電極164に流れる定電流 I_2 ）を、磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{00}$ に供給することかできる。すなわち、かかる読出行選択回路1603と読出用列選択回路1604とが、この発明の読出制御手段を構成している。

【0227】さらに、読出用列選択回路1604は、第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_0$ および第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_0$ のうち選択されたものを、出力端子 $B_{01} \sim C_{01}$ を介して抵抗比較回路1605に接続する。この抵抗比較回路1605は、第2の抵抗値検出線 $B_1 \sim B_0$ および第3の抵抗値検出線 $C_1 \sim C_0$ の電圧値から第1の情報記録部110の電気抵抗値と第2の情報記録部150の電気抵抗値とをそれぞれ検出して、これらの検出結果を比較した結果を出力することができる。

【0228】次に、図16に示した情報記憶装置の動作について、磁気メモリセル M_{11} についての記録および読出しを行なう場合を例に採って説明する。

【0229】この磁気メモリセル M_{11} に情報「0」を記録する場合には、まず、記録用行選択回路1601で第1の記録電流供給線 a_1 を選択するとともに、記録用列選択回路1602で第2の記録電流供給線 b_1 を選択する。そして、第1の記録電流供給線 a_1 側から第2の記録電流供給線 b_1 側に流れる電流（この電流方向を正方向とする）を、磁気メモリセル M_{11} の磁界形成用電極130に供給する。これにより、図3で説明したような原理によって、この磁気メモリセル M_{11} の第1の情報記憶部110の抵抗を高抵抗に、第2の情報記憶部150の抵抗を低抵抗に設定することができ、したがって情報「0」を記録することができ。

【0230】また、この磁気メモリセル M_{11} に情報「1」を記録する場合には、まず、上述の場合と同様に、記録用行選択回路1601および記録用列選択回路1602で第1の記録電流供給線 a_1 および第2の記録電流供給線 b_1 を選択する。そして、第2の記録電流供給線 b_1 側から第1の記録電流供給線 a_1 側に流れる電

流（すなわち負方向の電流）を磁気メモリセル M_{11} の磁界形成用電極130に供給することによって、この磁気メモリセル M_{11} の第1の情報記録部110の抵抗を低抵抗に、第2の情報記録部150の抵抗を高抵抗にそれぞれ設定し、情報「1」を記録することができる。

【0231】一方、この磁気メモリセル M_{11} に記憶された情報を読出す場合には、まず、読出行選択回路1603によって第1の抵抗値検出線 A_1 を、読出用列選択回路1604によって第2の抵抗値検出線 B_1 および第3の抵抗値検出線 C_1 を、それぞれ選択する。そして、第1の抵抗値検出線 A_1 側から第2の抵抗値検出線 B_1 および第3の抵抗値検出線 C_1 側に流れる定電流を、磁気メモリセル M_{11} に供給する。これにより、この磁気メモリセル M_{11} には、抵抗値検出用電極161から抵抗値検出用電極162に流れる定電流 I_1 および抵抗値検出用電極163から抵抗値検出用電極164に流れる定電流 I_2 が供給される。ここで、第2の抵抗値検出線 B_1 に流れる電流および第3の抵抗値検出線 C_1 に流れる定電流 I_2 は、そのまま抵抗比較回路1605に供給される。この抵抗比較回路1605は、第2の抵抗値検出線 B_1 と第3の抵抗値検出線 C_1 との電圧値を比較する。この電圧値の差が、第1の情報記録部110の電気抵抗値と第2の情報記録部150の電気抵抗値との差に相当する。そして、この比較によって得られた検出結果を、情報値として外部に出力する。

【0232】なお、他の磁気メモリセルに対する情報の記録および読出しを行なう差異の動作も磁気メモリセル M_{11} の場合と同様であるので、説明を省略する。

【0233】このように、この実施の形態に係る情報記憶装置によれば、第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子100を磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{00}$ として用いたので、各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{00}$ が有する情報記録部110、150に逆方向の磁界を印加することにより異なる抵抗値を設定することができる。したがって、従来の情報記憶装置と比較して読出し時の出力信号値を2倍にすることができるとともに、その分だけS/N比の向上も図ることができる。

【0234】また、2個の情報記録部に対して1個の磁界形成用電極を設ければよく、参照用の磁気メモリセルを用いる必要もないので、従来の情報記憶装置と比較して配線パターンやメモリセルの形成に要する面積を小さくすることができ、したがって、高密度化や小面積化を図ることが容易となる。

【0235】なお、この実施の形態では、第1の情報記録部110および第2の情報記録部150に定電流を流したときの電圧値を比較することによって磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{00}$ に記録された情報値を読出すこととしたが、これらの情報記録部110、150に定電圧電流を流したときの電流値を比較することとしてもよい。

【0236】また、この実施の形態では、磁気メモリセ

ル $M_{11} \sim M_{uv}$ として第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子を使用した。第3の実施の形態や第5の実施の形態に係る磁気メモリ素子(図6、図11参照)を使用することも可能である。この場合も、この実施の形態とまったく同様の構成および動作で情報の記録および読出しを行なうことができる。

【0237】第8の実施の形態

次に、この発明の第8の実施の形態として、第2の実施の形態に係る磁気メモリ素子(図1参照)を用いた情報記憶装置の実施の形態、すなわち3値化情報の記録を行なう情報記憶装置の実施の形態の一例について、図17を用いて説明する。

【0238】ここで、図17において、図16と同じ符号を付した構成部は、それぞれ図16の場合と同じものを示している。すなわち、この実施の形態に係る情報記憶装置では、記録用行選択回路1701および記録用列選択回路1702の内部構成のみが、図16に示した第7の実施の形態の情報記憶装置の構成と異なる。

【0239】ここで、記録用行選択回路1701は第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ に、記録用列選択回路1702は第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ に、それぞれ接続されている。そして、かかる記録用行選択回路1701と記録用列選択回路1702とは、第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ および第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ からそれぞれ1本ずつを選択し、かかる2本の電流供給線を用いて磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の磁界形成用電極130に3種類の電流を流すことができる。すなわち、かかる記録用行選択回路1701と記録用列選択回路1702とは、各磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ の情報記録部110、150に印加される磁界強度の絶対値が40

【Oe】となるような電流を正方向(すなわち第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ 側から第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ 側への方向)および負方向(すなわち第2の記録電流供給線 $b_1 \sim b_v$ 側から第1の記録電流供給線 $a_1 \sim a_u$ 側への方向)に流すことができるとともに、かかる情報記録部110、150に印加される磁界強度の絶対値が20【Oe】となるような電流を負方向に流すことができるように、構成されている。

【0240】次に、図17に示した情報記憶装置の動作について、磁気メモリセル M_{11} についての記録および読出しを行なう場合を例に採って説明する。

【0241】この磁気メモリセル M_{11} に情報「0」を記録する場合の動作は、第7の実施の形態と同様であり、まず、記録用行選択回路1701および記録用列選択回路1702で第1の記録電流供給線 a_1 および第2の記録電流供給線 b_1 を選択する。そして、磁気メモリセル M_{11} の情報記録部110、150に印加される磁界強度の絶対値が40【Oe】となるような値の定電流を、第1の記録電流供給線 a_1 側から第2の記録電流供給線 b_1 側への方向(すなわち正方向)に流す。これによ

り、図5で説明したような原理によって、この磁気メモリセル M_{11} の第1の情報記録部110の抵抗を高抵抗に、第2の情報記録部150の抵抗を低抵抗に設定することができ、したがって情報「0」を記録することができる。

【0242】また、この磁気メモリセル M_{11} に情報「1」を記録する場合には、まず、記録用行選択回路1701および記録用列選択回路1702で第1の記録電流供給線 a_1 および第2の記録電流供給線 b_1 を選択して、磁気メモリセル M_{11} の情報記録部110、150に印加される磁界強度の絶対値が40【Oe】となるような値の定電流を、負方向に流す。これにより、この磁気メモリセル M_{11} の第1の情報記録部110の抵抗を低抵抗に、第2の情報記録部150の抵抗を高抵抗にそれぞれ設定することができるので、情報「1」を記録することができる。

【0243】さらに、この磁気メモリセル M_{11} に情報「2」を記録する場合には、まず、記録用行選択回路1701および記録用列選択回路1702で第1の記録電流供給線 a_1 および第2の記録電流供給線 b_1 を選択して、磁気メモリセル M_{11} の情報記録部110、150に印加される磁界強度の絶対値が20【Oe】となるような値の定電流を、負方向に流す。これにより、この磁気メモリセル M_{11} の第1の情報記録部110および第2の情報記録部150の抵抗は低抵抗に設定されるので、情報「2」を記録することができる。

【0244】一方、この磁気メモリセル M_{11} に記憶された情報を読出す場合は、第7の実施の形態の場合と同様、まず、読出行選択回路1603および読出用列選択回路1604によって第1の抵抗値検出線 A_1 、第2の抵抗値検出線 B_1 および第3の抵抗値検出線 C_1 をそれぞれ選択し、続いて、第1の抵抗値検出線 A_1 側から第2の抵抗値検出線 B_1 および第3の抵抗値検出線 C_1 側に流れる定電流を、磁気メモリセル M_{11} に供給する。そして、抵抗比較回路1605が、第2の抵抗値検出線 B_1 と第3の抵抗値検出線 C_1 との電圧値を比較した結果を出力する。これにより、磁気メモリセル M_{11} が有する情報記録部110、150の抵抗値が高抵抗/低抵抗(情報値「0」)、低抵抗/高抵抗(情報値「1」)または低抵抗/低抵抗(情報値「2」)のいずれに相当するかを判断することができる。

【0245】なお、他の磁気メモリセルに対する情報の記録および読出しを行なう際の動作も磁気メモリセル M_{11} の場合と同様であるので、説明を省略する。

【0246】このように、この実施の形態に係る情報記憶装置によれば、第2の実施の形態に係る磁気メモリ素子100を磁気メモリセル $M_{11} \sim M_{uv}$ として用いたの

で、従来の情報記憶装置と比較して読出し時の出力信号値を2倍にすることができるとともに、その分だけS/N比の向上も図ることができる。

【0247】また、2個の情報記録部に対して1個の磁界形成用電極を設ければよく、参照用の磁気メモリセルを用いる必要もないので、高密度化や小面積化を図ることが容易となる。

【0248】さらに、3値化情報の記憶が可能となるので、記憶容量の増大等を図ることができる。

【0249】なお、この実施の形態でも、第7の実施の形態と同様、情報記録部110、150に定電圧電流を流したときの電流値を比較することとしてもよい。

【0250】また、第4の実施の形態や第6の実施の形態に係る磁気メモリ素子を使用することも可能であり、この場合もこの実施の形態とまったく同様の構成および動作で3値化情報の記録および読出しを行なうことができる。

【0251】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、この発明によれば、出力値が大きく且つ高密度化が容易な磁気メモリ素子および情報記憶装置を提供することができる。

【0252】また、この発明によれば、かかる磁気メモリ素子に対して簡単な手順で2値化情報または3値化情報の記録を行なうことができる、磁気メモリ素子の情報記録方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を示す斜視図である。

【図2】(A)、(B)ともに、第1の実施の形態に係る情報記録部の特性を示すグラフである。

【図3】(A)は第1の実施の形態に係る磁気メモリ素子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

【図4】第2の実施の形態に係る情報記録部の特性を模式的に示すグラフである。

【図5】(A)は第2の実施の形態に係る磁気メモリ素子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

【図6】(A)～(C)ともに、第3の実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を示す斜視図である。

【図7】(A)、(B)ともに、第3の実施の形態に係る情報記録部の特性を示すグラフである。

【図8】(A)は第3の実施の形態に係る磁気メモリ素

子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

【図9】第4の実施の形態に係る情報記録部の特性を模式的に示すグラフである。

【図10】(A)は第4の実施の形態に係る磁気メモリ素子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

【図11】第5の実施の形態に係る磁気メモリ素子の構造を示す斜視図である。

【図12】(A)、(B)ともに、第5の実施の形態に係る情報記録部の特性を示すグラフである。

【図13】(A)は第5の実施の形態に係る磁気メモリ素子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

【図14】第6の実施の形態に係る情報記録部の特性を模式的に示すグラフである。

【図15】(A)は第6の実施の形態に係る磁気メモリ素子から情報を読出すための回路構成を示す電気回路図、(B)は記録・再生動作を説明するための図である。

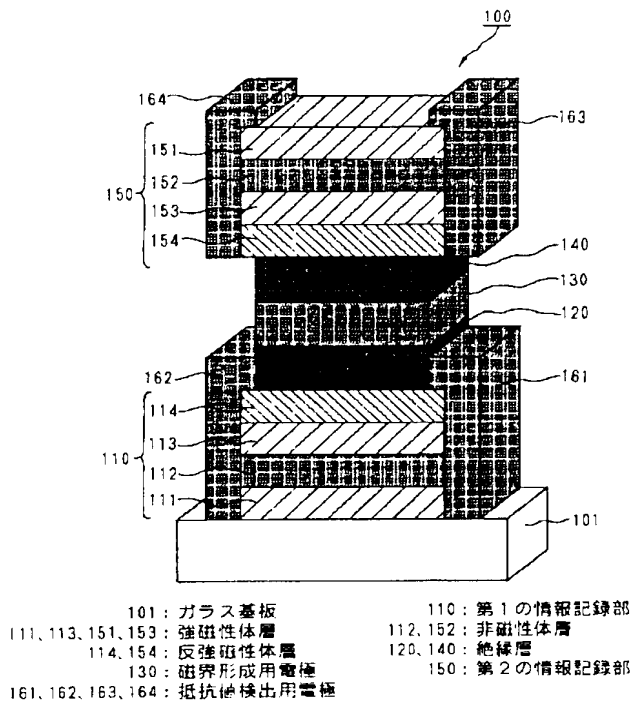
【図16】第7の実施の形態に係る情報記憶装置の要部構成を示す電気回路図である。

【図17】第8の実施の形態に係る情報記憶装置の要部構成を示す電気回路図である。

【符号の説明】

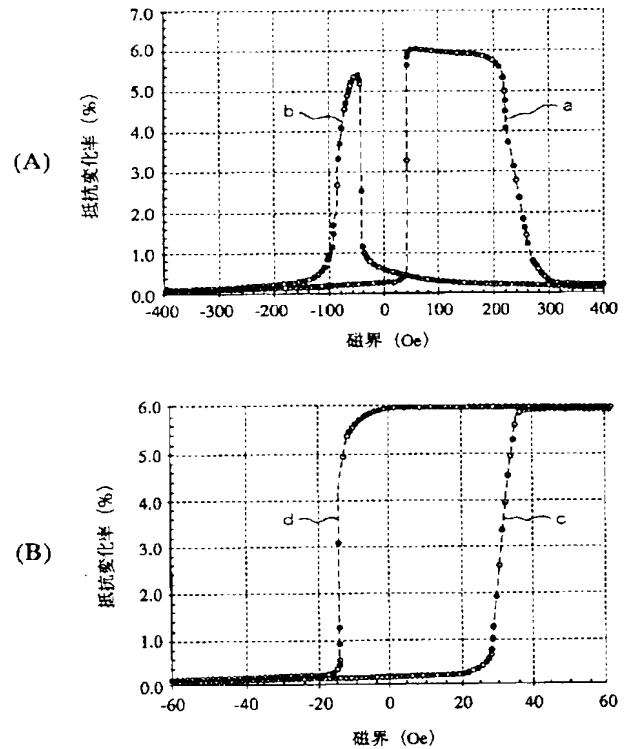
- 100 磁気メモリ素子
- 101 ガラス基板
- 110 第1の情報記録部
- 111, 113, 151, 153 強磁性体層
- 120, 140 絶縁層
- 130 磁界形成用電極
- 150 第2の情報記録部
- 161, 162, 163, 164 抵抗値検出用電極
- 301 第1の抵抗検出回路
- 302 第2の抵抗検出回路
- 303 比較回路
- 304 出力端子

【図1】



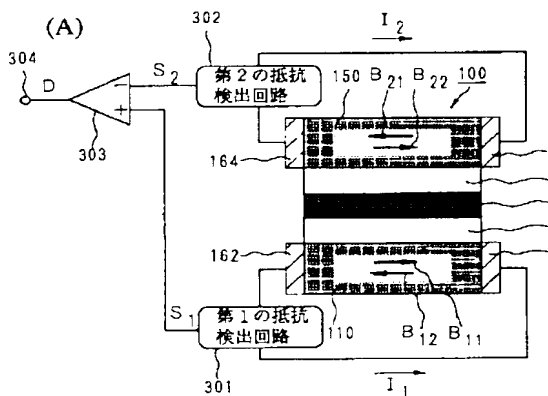
第1の実施の形態の磁気メモリ素子の構造図

【図2】



第1の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図3】

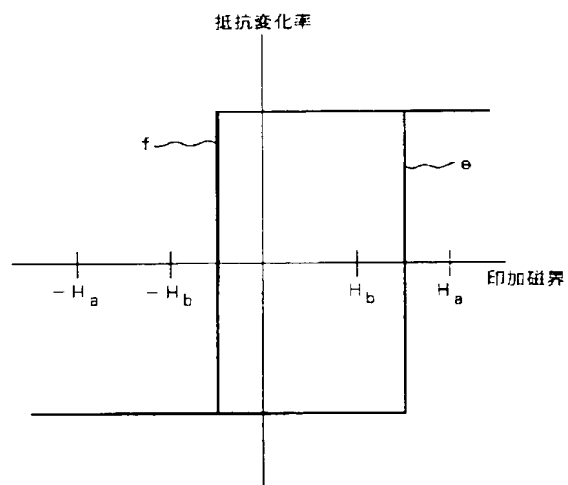


(B)

		第1の情報記録媒体		第2の情報記録媒体		出力
		磁界	抵抗値	磁界	抵抗値	
磁界形成用電極の電流の向き	正	→	H	←	L	正
	負	←	L	→	H	負

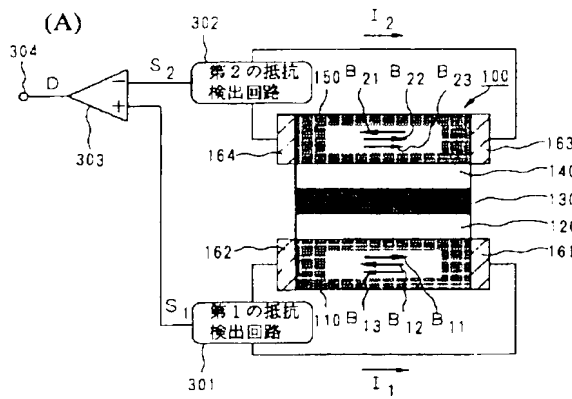
第1の実施の形態の動作説明図

【図4】



第2の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図5】

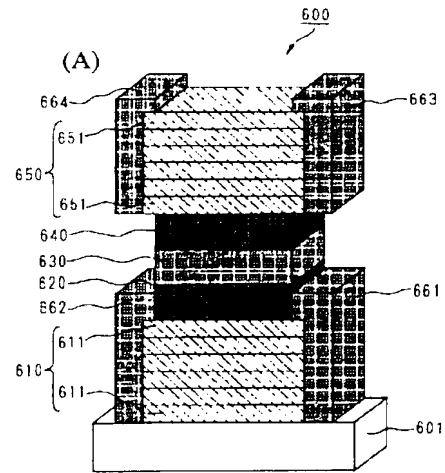


(B)

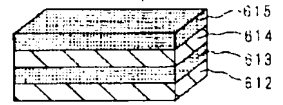
		第1の情報記録媒体		第2の情報記録媒体		出力
		磁界	抵抗値	磁界	抵抗値	
磁界形成用電極の電流の向き	正	\rightarrow (H_a)	H	\leftarrow ($-H_a$)	L	正
	負	\leftarrow ($-H_a$)	L	\rightarrow (H_a)	H	負
	負	\leftarrow ($-H_b$)	L	\rightarrow (H_b)	L	零

第2の実施の形態の動作説明図

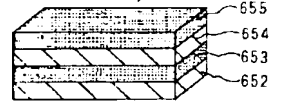
【図6】



(B)



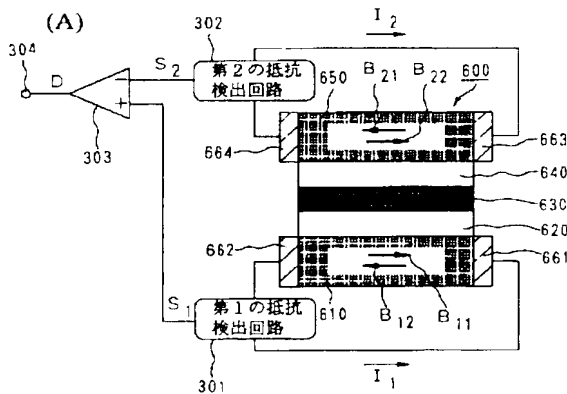
(C)



601: ガラス基板
 611, 651: 積層単位
 613, 615, 653, 655: 非磁性体層
 630: 磁界形成用電極
 661, 662, 663, 664: 抵抗値検出用電極

第3の実施の形態の磁気メモリ素子の構造図

【図8】

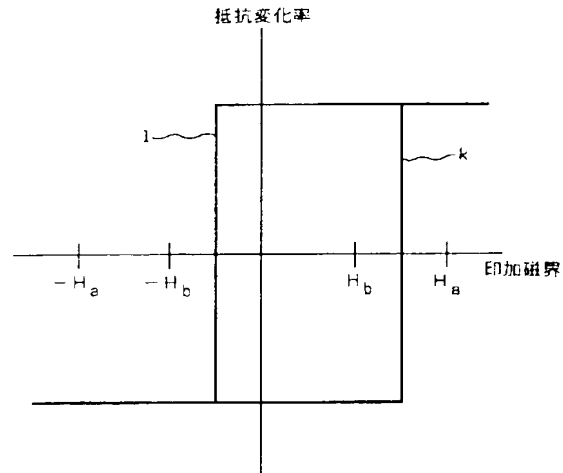


(B)

		第1の情報記録媒体		第2の情報記録媒体		出力
		磁界	抵抗値	磁界	抵抗値	
磁界形成用電極の電流の向き	正	\rightarrow	H	\leftarrow	L	正
	負	\leftarrow	L	\rightarrow	H	負

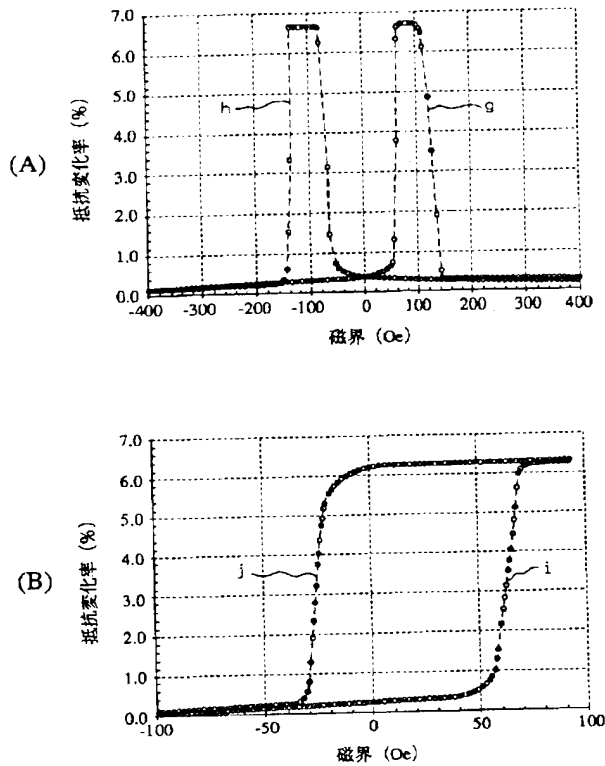
第3の実施の形態の動作説明図

【図9】



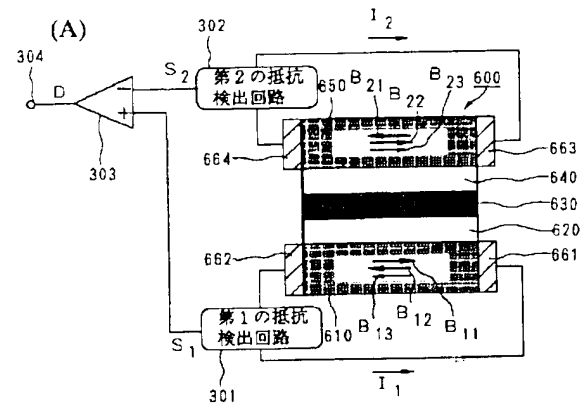
第4の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図7】



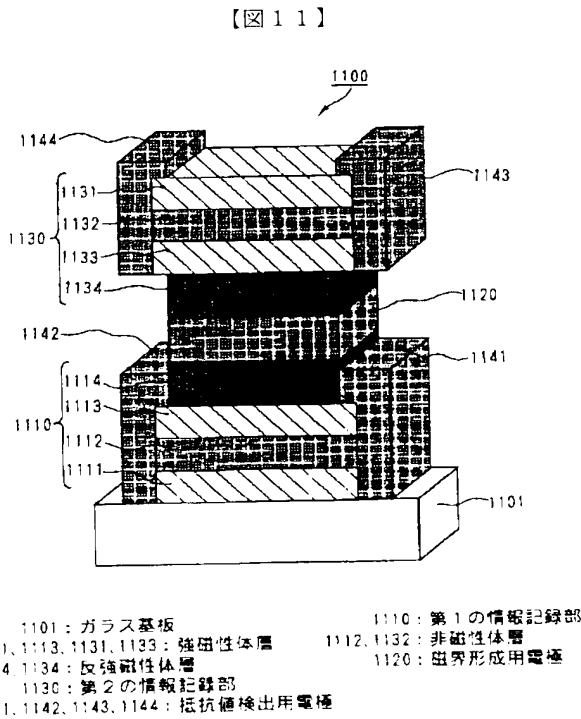
第3の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図10】

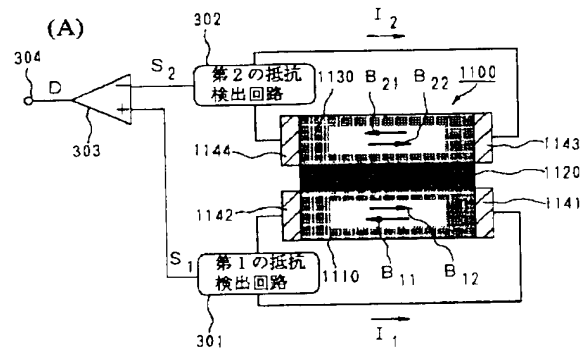


第4の実施の形態の動作説明図

【図13】

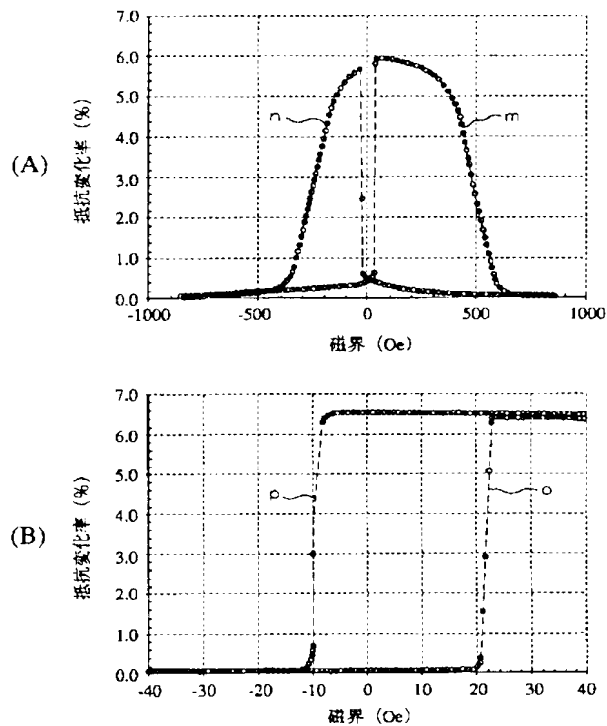


第5の実施の形態の磁気メモリ素子の構造図



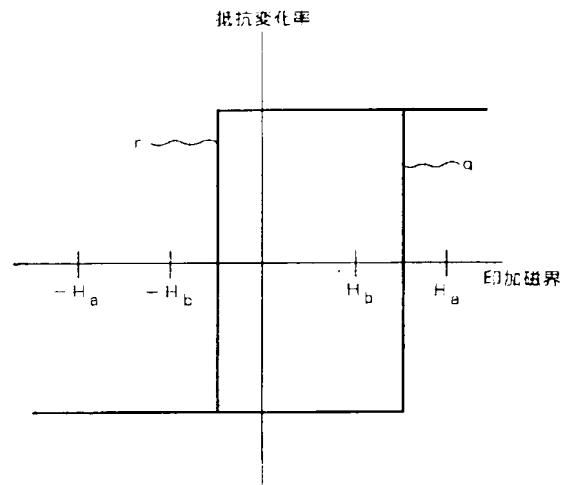
第5の実施の形態の動作説明図

【図12】



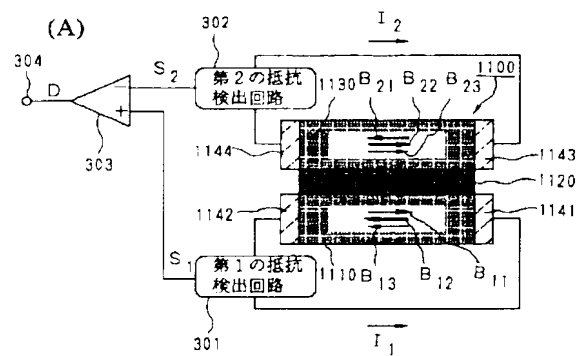
第5の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図14】



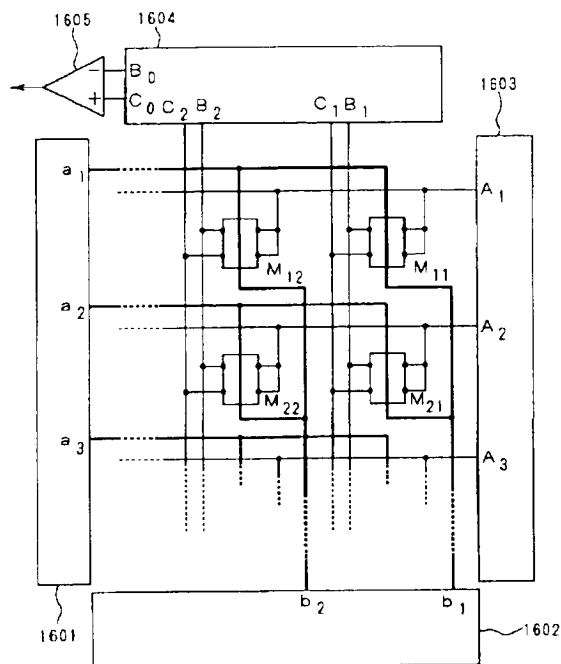
第6の実施の形態の情報記録部の磁気抵抗曲線

【図15】



第6の実施の形態の動作説明図

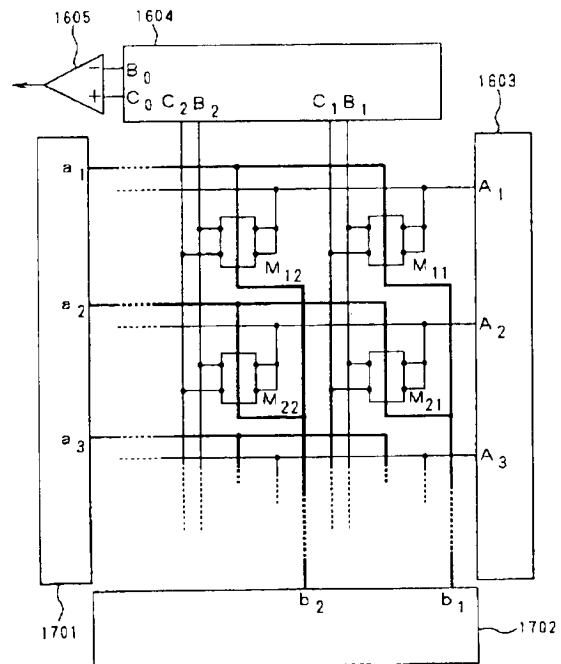
【図 16】



a_1, a_2 : 第 1 の記録電流供給線 1601 : 記録用行選択回路
 b_1, b_2 : 第 2 の記録電流供給線 1602 : 記録用列選択回路
 A_1, A_2 : 第 1 の抵抗値検出線 1603 : 読出行選択回路
 B_1, B_2 : 第 2 の抵抗値検出線 1604 : 読出用列選択回路
 C_1, C_2 : 第 3 の抵抗値検出線 1605 : 抵抗比較回路

第 7 の実施の形態の情報記憶装置の構成図

【図 17】



1701 : 記録用行選択回路 1702 : 記録用列選択回路

第 8 の実施の形態の情報記憶装置の構成図